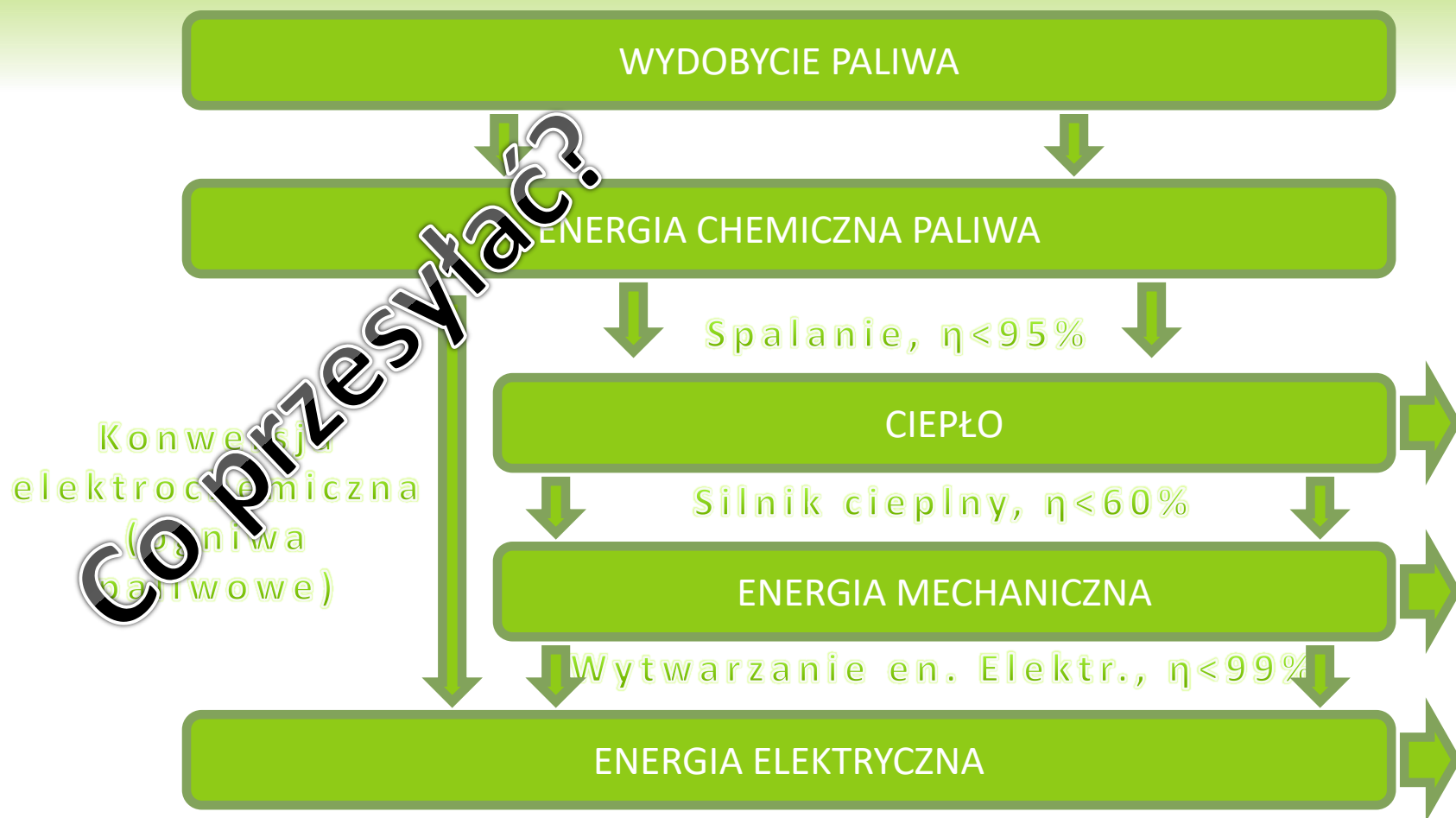


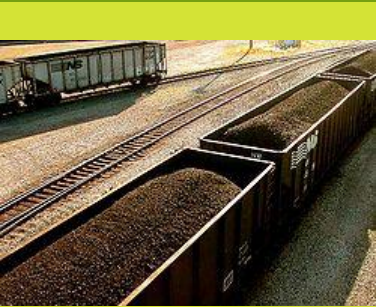


SYSTEMY ELEKTROENERGETYCZNE

ŁAŃCUCH KONWERSJI ENERGII DLA PALIW KOPALNYCH



PRZESYŁ ENERGII



Transport paliwa – zużycie u odbiorcy energii

- Transport paliwa może być kosztowny i wymaga zużycia energii
- Produkcja energii w miejscu zużycia musi być elastyczna dla nadążania za zmiennym zapotrzebowaniem (jeśli jest zmienne)
- Mało sensowne dla małych odbiorców



Przesył energii elektrycznej

- Umożliwia centralizację wytwarzania i podnoszenie sprawności
- Rozwój infrastruktury przesyłowej może być kosztowny
- Straty przesyłu

WOJNA NAPIĘĆ AC/DC

Niskie napięcie = wysokie straty

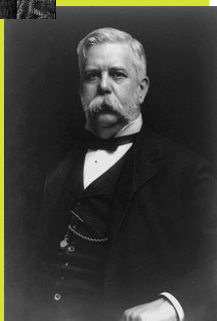


Sieci DC

- Podnoszenie napięcia nieefektywne przy użyciu technologii z XIX w. (przetwornice dwumaszynowe).
- Promowane przez Thomasa Edisona.

Sieci AC

- Tanie transformatory → łatwe zmiany napięcia umożliwiające przesył przy wysokich napięciach i zużycie/wytwarzanie przy niższych.
- Promowane przez George'a Westinghouse'a i Nikołę Teslę



SIECI DC

KONCEPCJA EDISONA

Sieci jednonapięciowe

- 110 V wybrane dla wszystkich urządzeń od generatora do odbiornika ze względu na:
 - bezpieczeństwo użytkowników,
 - brak możliwości efektywnych zmian napięcia.

Układ trójprzewodowy

- Przewodniki +110 V, 0 V, -110 V.

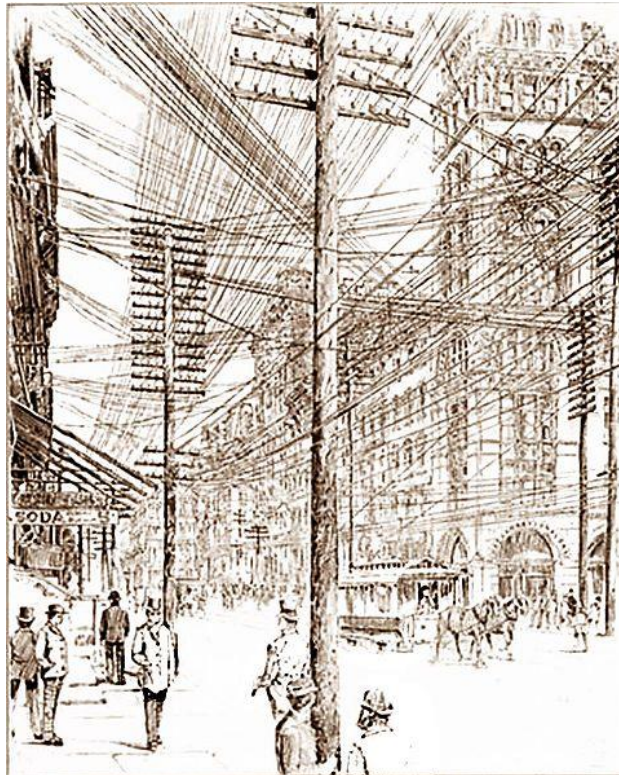
Duże straty przy dużych odległościach

- Ze względu na straty (rezystancja) przesył uznawany za praktyczny tylko przy odległościach do 1 mili (1,6 km).
- Energetyka rozproszona.

PIERWSZA LINIA PRZESYŁOWA PRĄDU STAŁEGO

- ⊙ Miesbach – Monachium, 1882
- ⊙ Przesył energii z silnika parowego do międzynarodowej wystawy elektrotechnicznej (zasilanie sztucznego wodospadu).
- ⊙ Zdolność przesyłowa 2,5 kW.
- ⊙ Długość linii 57 km.
- ⊙ Napięcie znamionowe 2000 V.

SIECI DC, NOWY JORK LATA 80. XIX W.



- ⊙ Osobne sieci dla każdego poziomu napięcia – różnych grup odbiorców:
- ⊙ oświetlenia,
- ⊙ silników elektrycznych.
- ⊙ Niepraktyczne
- ⊙ Rozwój na obszarach zurbanizowanych niemożliwy.

SIEĆ DC WYSOKIEGO NAPIĘCIA UKŁAD THURY'EGO

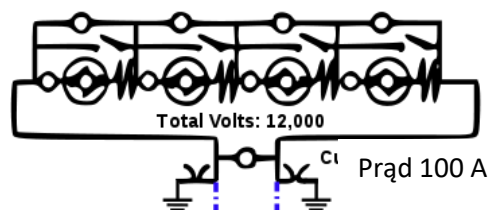


- ⊙ Konwersja na prąd stały o wysokim napięciu dla przesyłu przy pomocy szeregowo połączonych przetwornic dwumaszynowych.
- ⊙ Szeregowo łączenie odbiorników
- ⊙ Pierwsze zastosowanie w 1889 r., w 1913 r. 15 systemów w eksploatacji
- ⊙ Wysokie straty energii w maszynach wirujących
- ⊙ Duże potrzeby w zakresie remontów
- ⊙ Niepraktyczne

UKŁAD THURY'EGO

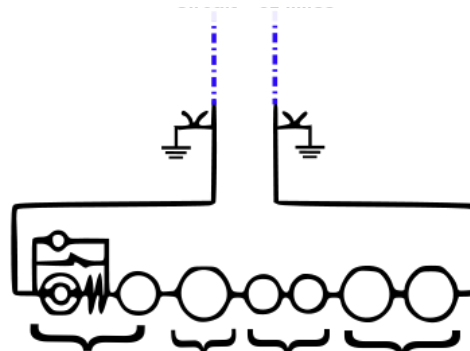


4 generatory 300 kW, 3 kV
Napięcie łączne 12 kV



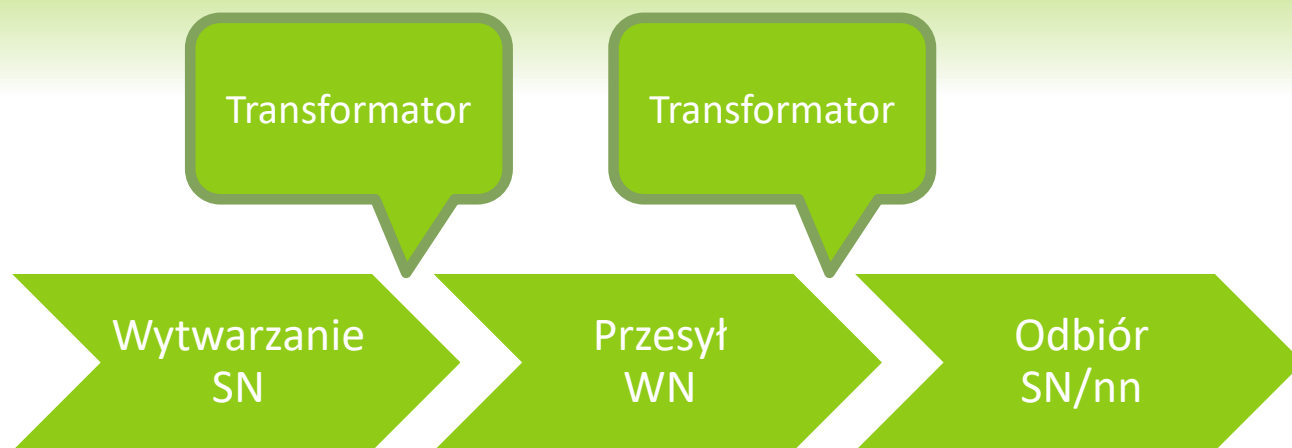
Układ ochrony odgromowej

Linia przesyłowa – 16 mil (obwód 32 mi)



2 silniki	Silnik	2 silniki	2 silniki
100 kW	300 kW	50 kW	30 kW
1000V	3000V	500V	3000V

KONCEPCJA SYSTEMU AC



Układ trójfazowy opatentowany przez Teslę 1887-88

Pierwszy przesył trójfazowy AC: 1891, Frankfurt

Napięcie: 25 kV, linia napowietrzna

Odległość: 175 km, trasa Lauffen – Frankfurt

**Prąd zmienny wygrał wojnę napięć
dzięki dostępności tanich transformatorów.**

DLACZEGO TRZY FAZY?

- ⊙ Układ wielofazowy z równomiernym obciążeniem
➔ brak przewodnika neutralnego ➔ oszczędność
- ⊙ Trzy fazy – minimalna liczba, przy której układ pracuje stabilnie

PODNOSENIE NAPIĘCIA

110 kV

- 1907, Croton-Grand Rapids, Michigan, USA – pierwsze próby
- 1912, Lauchhammer-Riesa, Niemcy – pierwsze zastosowanie systemowe

220 kV

- 1923, Pit River – Cottonwood – Vaca Dixon, Kalifornia, USA
- 1929, Brauweiler-Hoheneck, Niemcy

380 kV

- 1952, Harsprånget – Hallsberg, Szwecja

735 kV

- 1965, Hydro-Québec, Kanada

1150 kV – najwyższy poziom eksploatacyjny

- 1988, Ekibastuz-Kokczetaw, ZSRR (obecnie Kazachstan)

LINIE NAPOWIELTRZNE

Niski koszt (względnie)

Łatwość budowy (w otwartym terenie)

Niskie straty pojemnościowe

Straty związane z ulotem (wyładowania koronowe)

Trudność budowy w obszarach zurbanizowanych lub górskich.

KABLOWE LINIE PODZIEMNE

Obszary zurbanizowane

Obszary, w których nie wolno budować linii napowietrznych

Przecinanie rzek i innych przeszkód naturalnych

Obszary o szczególnym znaczeniu przyrodniczym i kulturowym

Rezerwacje gruntu pod przyszłą rozbudowę infrastruktury

ZALETY LINII PODZIEMNYCH

Mniejsza podatność na warunki atmosferyczne (wiatr, szadź)

Redukcja emisji elektromagnetycznych

Konieczny węższy pas dla budowy

NOWOCZESNE LINIE PRĄDU STAŁEGO (HVDC)



- ⊙ HVDC = High Voltage Direct Current
- ⊙ Wprowadzenie lamp rtęciowych (prostowników rtęciowych) w latach 30. i 40. XX w. umożliwiło łatwe przekształcanie prądu zmiennego w stały o wysokim napięciu.
- ⊙ Obecnie lampy rtęciowe zastąpione prostownikami tyrystorowymi.
- ⊙ Popularyzacja układów prądu stałego po II wojnie światowej w ograniczonym spektrum zastosowań.
- ⊙ Linie DC używane jako łączniki pomiędzy elementami sieci AC.

HVDC A AC DZIŚ

Koszty

- Linia HVDC jest tańsza ze względu na większą zdolność przesyłową przewodnika (wartość skuteczna prądu równa znamionowej)
- Podstacje sieci AC są tańsze.
→ HVDC rozwiązaniem dobrym dla długich linii przesyłowych

Straty

- Mniejsze straty w liniach HVDC (w stanie ustalonym zerowe)
- W przypadku linii kablowych (podziemnych) w przypadku HVDC nie ma strat pojemnościowych.

Niezawodność

- HVDC mniej niezawodne z uwagi na stosowanie dodatkowych urządzeń
- Brak możliwości przeciążania falowników (HVDC)

Budowa sieci

- Brak dobrej aparatury DC → Wyłączniki po stronie AC

WSPÓŁCZESNE ZASTOSOWANIA LINII PRĄDU STAŁEGO

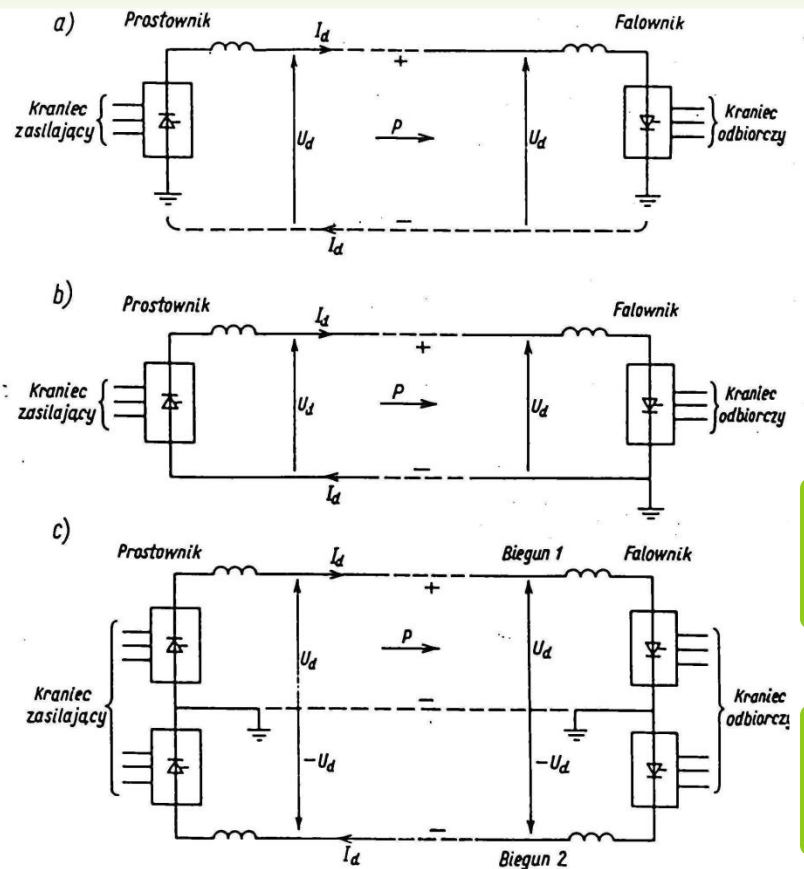
Łączniki

- łączenie niesynchronizowanych systemów AC (brak synchronizacji, różna częstotliwość):
 - kable podmorskie,
 - wstawki prądu stałego (WPS) – „zerowa” długość

Długie linie przesyłowe

- przesył dużej ilości energii z oddalonych źródeł (elektrownie wodne, farmy wiatrowe off-shore)

UKŁAD LINII HVDC

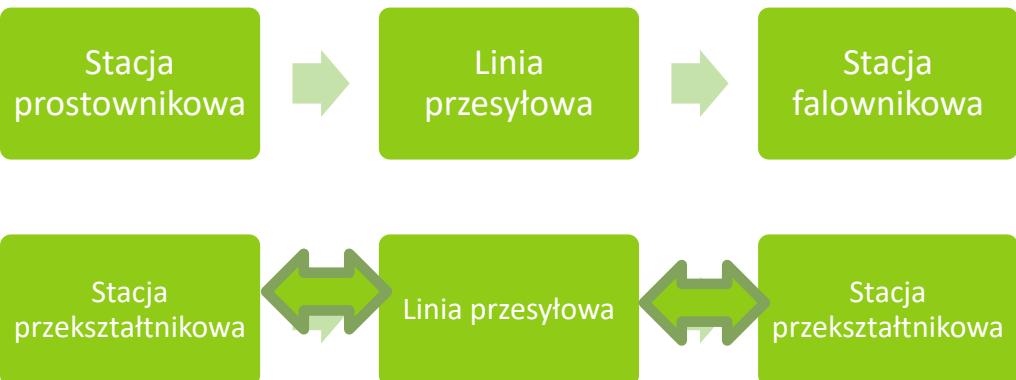


Jednobiegunowy

- Jednoprzewodowy (powrót ziemią)
- Dwuprzewodowy (przewodnik powrotny)

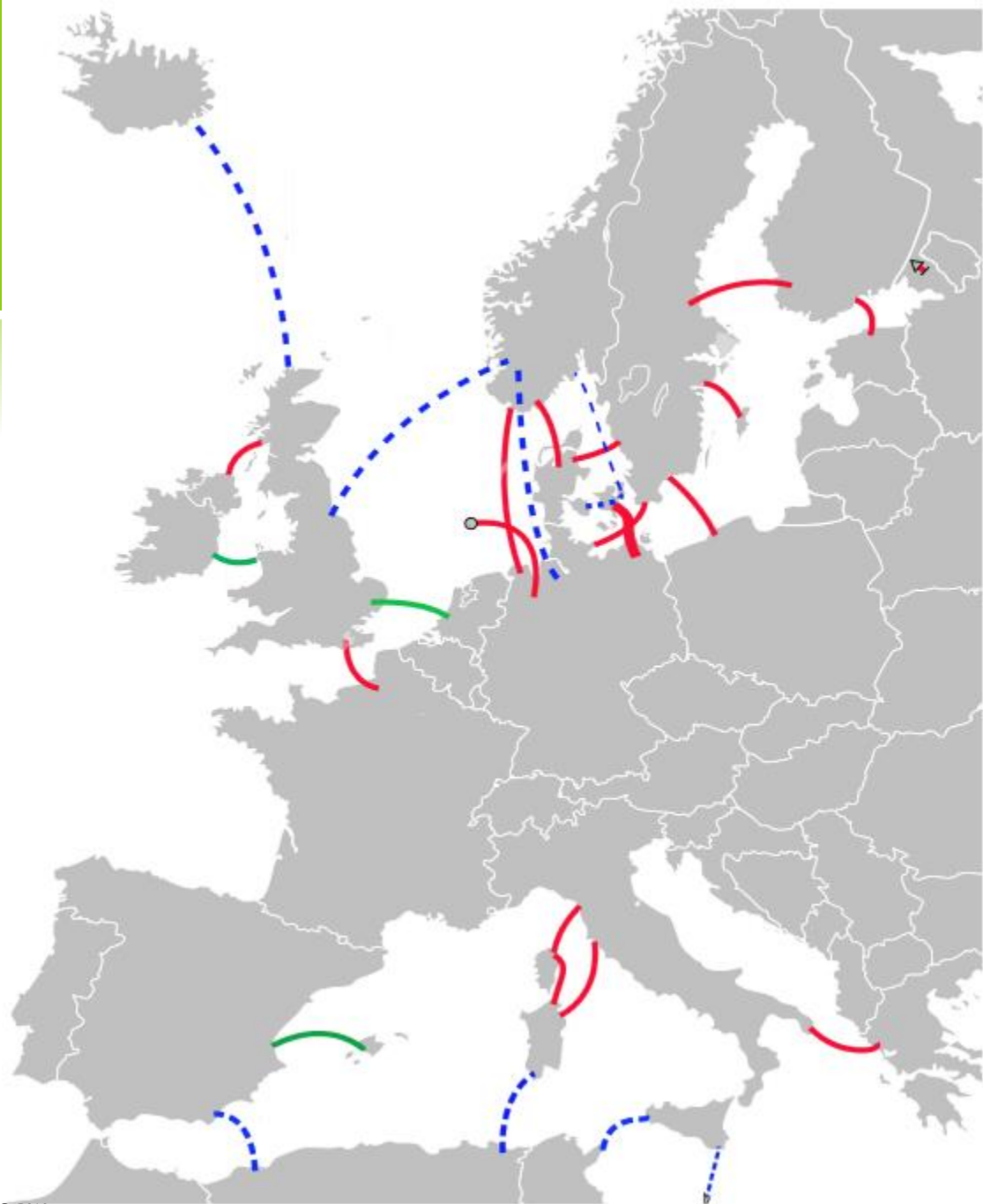
Dwubiegunowy

- Para przewodników o wysokim potencjale względem ziemi, przeciwna biegunowość



ŁĄCZA HVDC W EUROPIE

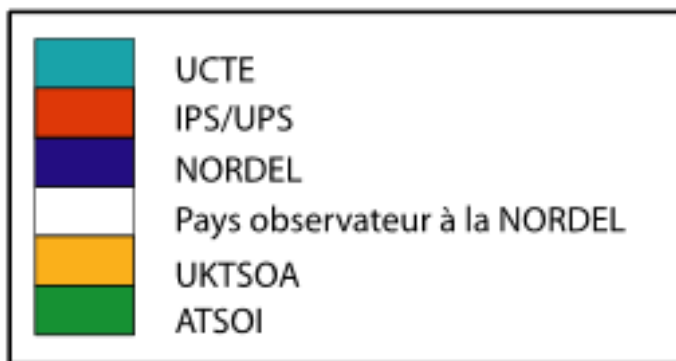
Istniejące
W budowie
Planowane



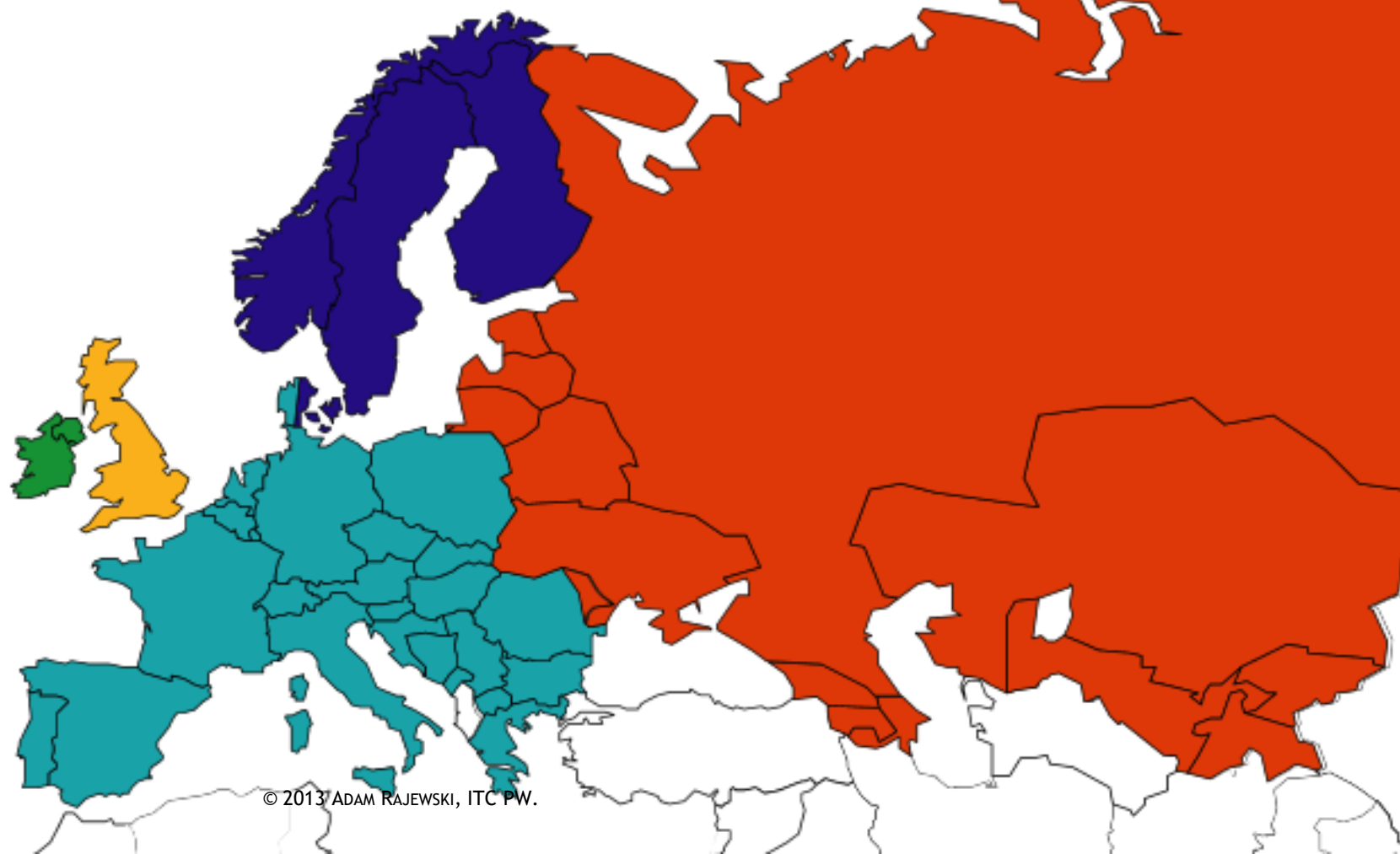
PACIFIC DC INTERTIE

- ⊙ Przesył energii z elektrowni wodnych stanów Waszyngton i Oregon do Kalifornii
- ⊙ Zbudowana wspólnie przez GE i ASEA
- ⊙ Linia napowietrzna, dwubiegunowa dł. 1342 km, 525-550 kV
- ⊙ Zdolność przesyłowa:
 - ⊙ 2 GW przy pracy obu biegunów,
 - ⊙ 1,55 GW z powrotem ziemnym
- ⊙ 2 stacje falownikowe, 2 stacje uziemiające





Sieci synchroniczne w Europie



SYSTEMY ELEKTROENERGETYCZNE DZIŚ

Wytwarzanie

- Elektrownie – scentralizowane i rozproszone

Przesył

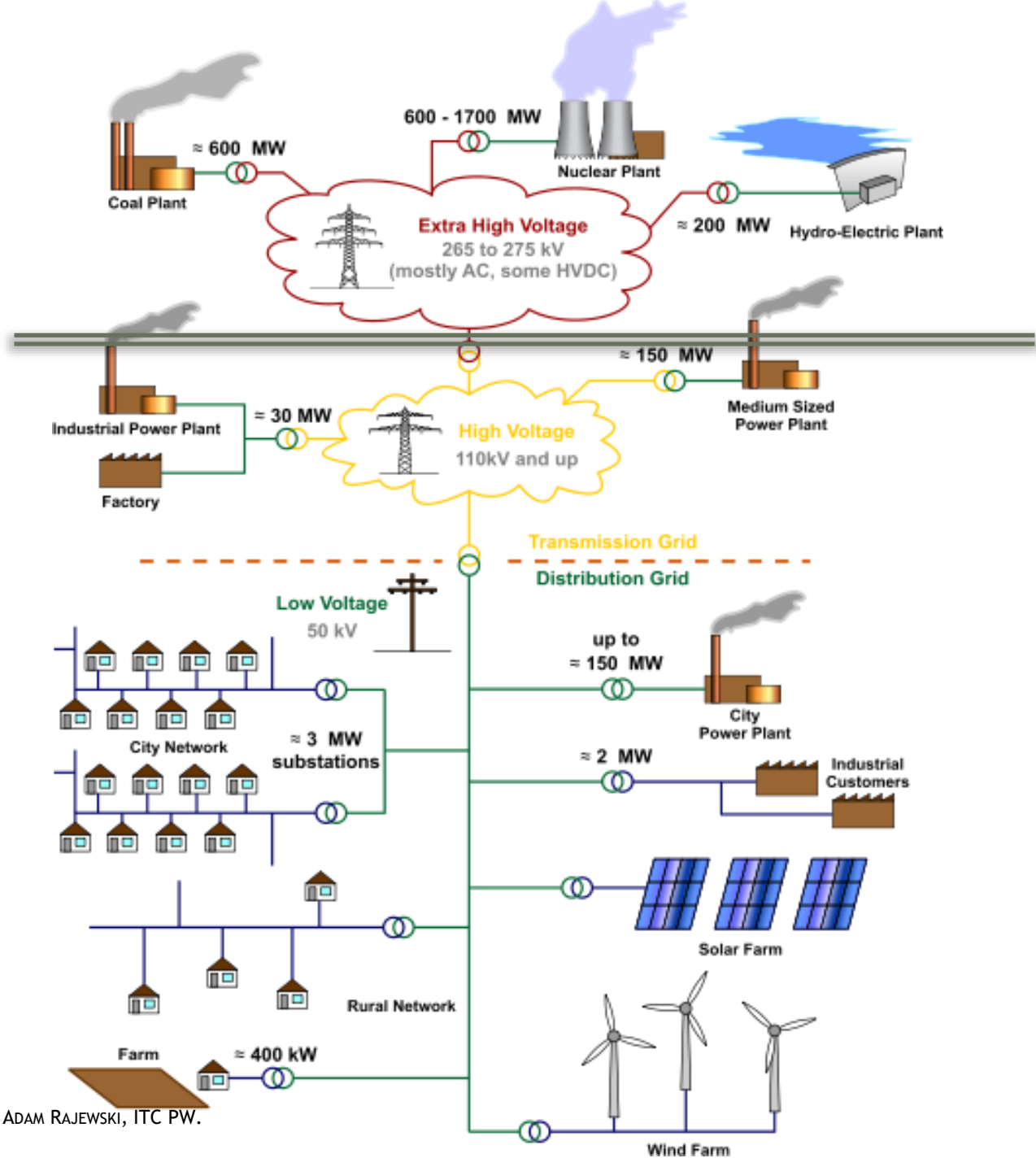
- Linie napowietrzne WN i NN
- Łączy DC

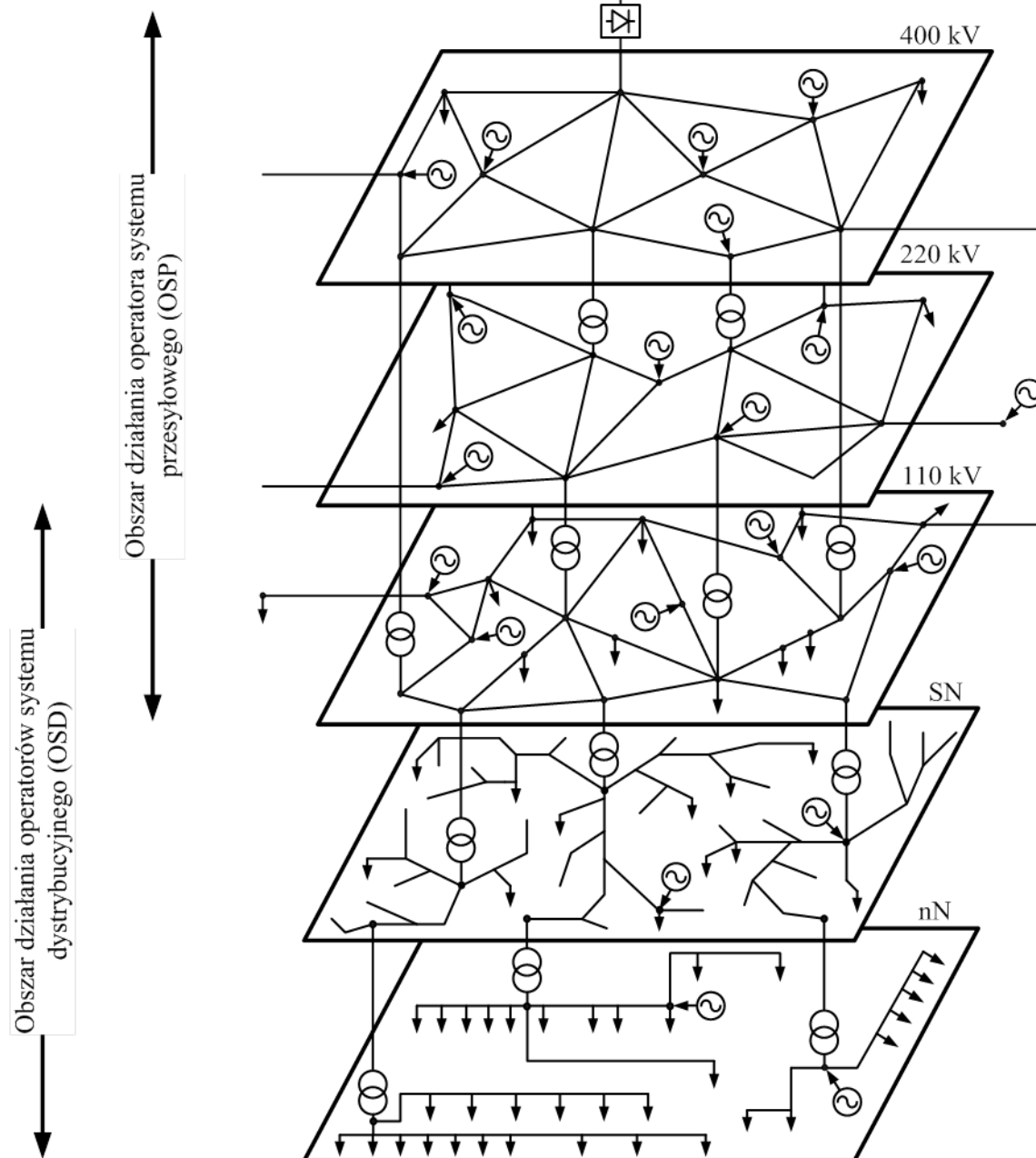
Dystrybucja

- Linie napowietrzne i kablowe, głównie SN, czasem WN

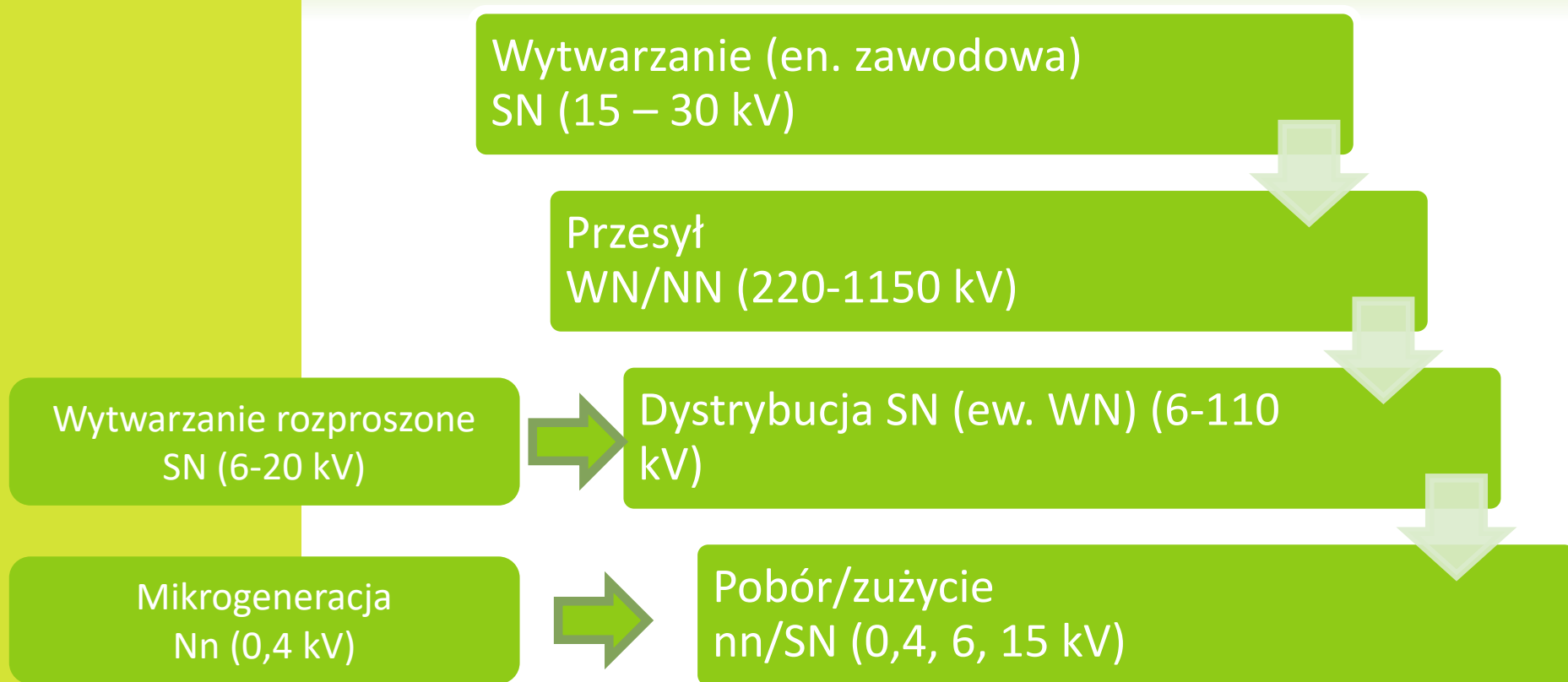
Regulacja systemu

- Utrzymywanie równowagi między wytwarzaniem i poborem





PRZEPŁYW ENERGII ELEKTRYCZNEJ



DOBRY SYSTEM PRZESYŁOWY

Wysokie napięcie – niskie straty

- Linie główne o poziomie napięcia rzędu 400 kV

Redundancja – wysokie bezpieczeństwo dostaw

- Zamknięte oczka sieci

Dostępność mocy regulacyjnych

- Rezerwa mocy we wszystkich obszarach regulacyjnych

Dostępny dla wszystkich użytkowników

- Niezależny OSP (wymóg prawny w UE)

SIEĆ ELEKTROENERGETYCZNA W POLSCE

System przesyłowy zarządzany przez PSE-Operator S.A.

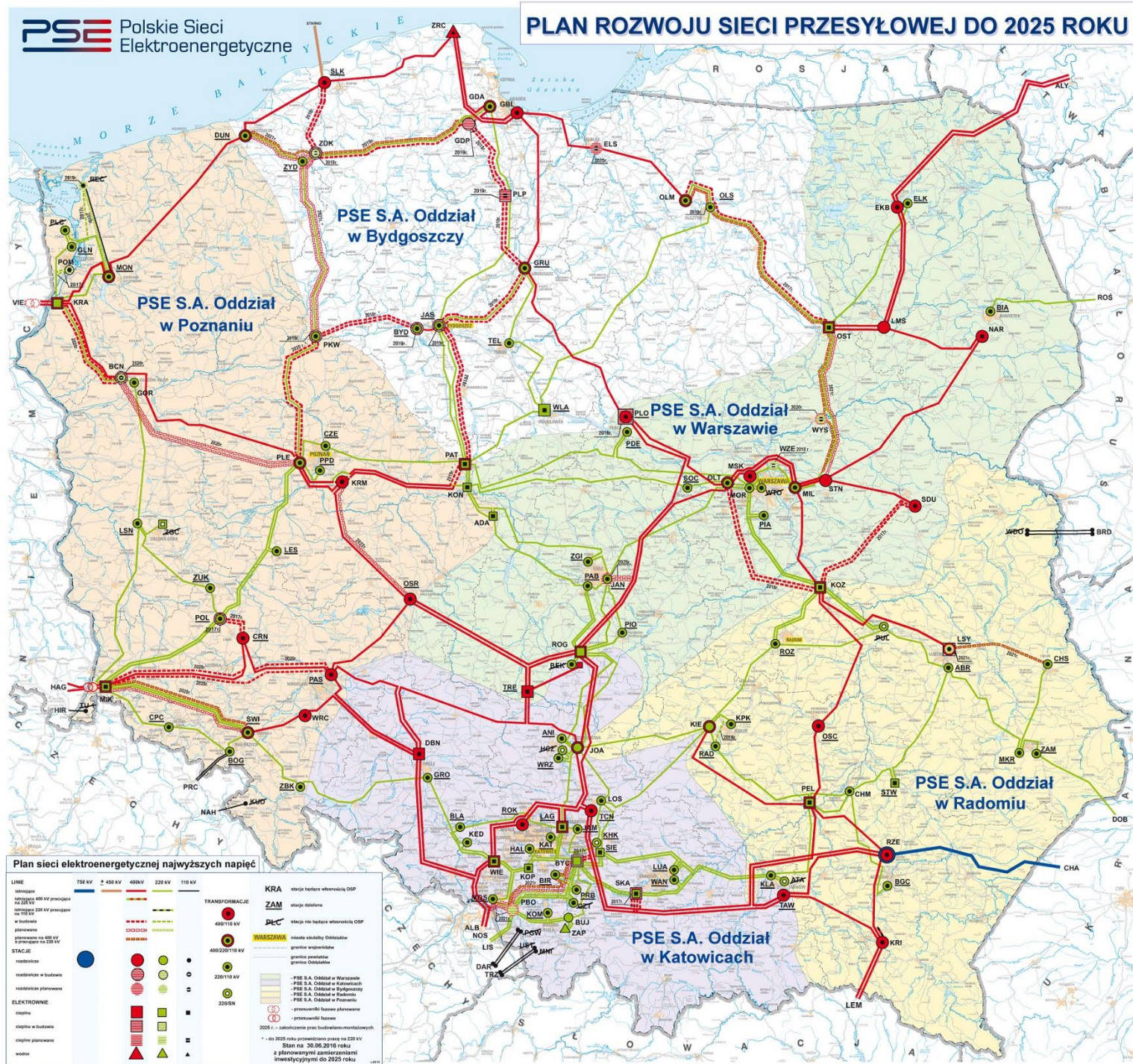
- Pojedyncza linia 750 kV – 114 km (nie pracuje)
- Sieć NN 400 kV – 66 linii, 4920 km
- Sieć WN 220 kV – 165 linii, 7919 km

Systemy dystrybucyjne

Zarządzane przez regionalnych Operatorów Systemu Dystrybucyjnego

- Sieć WN 220 kV – 232 km
- Sieć WN 110 kV – 32,475 km
- Sieci SN – 300 511 km
 - 15 kV (najpopularniejsze)
 - lokalne sieci 60 kV (Śląsk), 30 kV (Płw. Helski), 20 kV, 10 kV
 - 6 kV (głównie starsze dzielnice miast, obszary wiejskie, podlega zastępowaniu siecią 15 kV)
- Sieci nn 0,4 kV (230/400 V) – 423 886 km

750 kV
400 kV
220 kV



POLSKA SIEĆ PRZESYŁOWA

Niedomknięty pierścień linii
WN/NN



POLSKIE POŁĄCZENIA TRANSGRANICZNE

Niemcy

- Krajnik-Vierraden, 2 × 220 kV, 930 MVA (planowana modernizacja do 400 kV)
- Mikułowa-Hagenwerder/Kisdorf, 2 × 400 kV, 2 × 1385 MVA
- Turów-Hirschwelde, 110 kV (sieć dystrybucyjna)

Czechy

- Boguszów-Porici, 110 kV (sieć dystrybucyjna)
- Kudowa-Nachod, 110 kV (sieć dystrybucyjna)
- Wielopole-Albrechtice/Nošovice, 2 × 400 kV, 2 × 1385 MVA
- Bujaków/Kopanina-Liskovec, 2 × 220 kV, 394+362 MVA

Słowacja

- Krosno/Iskrzynia – Leměšany, 400 kV, 2 × 1385 MVA

Ukraina

- Rzeszów-Chmielnickaja EJ, 750 kV, 1300 MVA (wył. 1993, planowana odbudowa z WPS)
- Zamość-Dobrotwór, 220 kV, 362 MVA (zsynchronizowane z polskim systemem, łączy promieniowe)

Białoruś

- Wolka Dobrzyńska-Brest, 110 kV (system dystrybucyjny, linia prywatna, zsynchronizowana z PL)
- Białystok-Roś, 220 kV, 362 MVA (wył. 2004, planowana odbudowa z WPS do Narwi)

Szwecja

- Słupsk-Starno, 450 kV DC, 600 MW

Litwa

- LitPol Link – Kruonis-Narew, 330/400 kV + WPS 70 kV, 500 MW

OPERATORZY SYSTEMU DYSTRYBUCYJNEGO W POLSCE



Źródło: <http://tania-energia.biz/dokumenty/ceny.html>

STABILIZACJA SYSTEMU

BILANSOWANIE SYSTEMU

System „tradycyjny”

- Znana moc jednostek wytwórczych
- Przewidywalny przebieg zmienności obciążenia
- Rezerwy na wypadek zdarzeń awaryjnych

System współczesny

- Nieprzewidywalna moc jednostek wytwórczych
- Rezerwy dla kompensacji zmian mocy jednostek niepodlegających dyspozycji ORAZ zdarzeń awaryjnych



PROBLEM

Holistyczne podejście do KSE

1. WYTWARZANIE

- Dopasowanie popytu i podaży
- Optymalny dobór jednostek wytwórczych

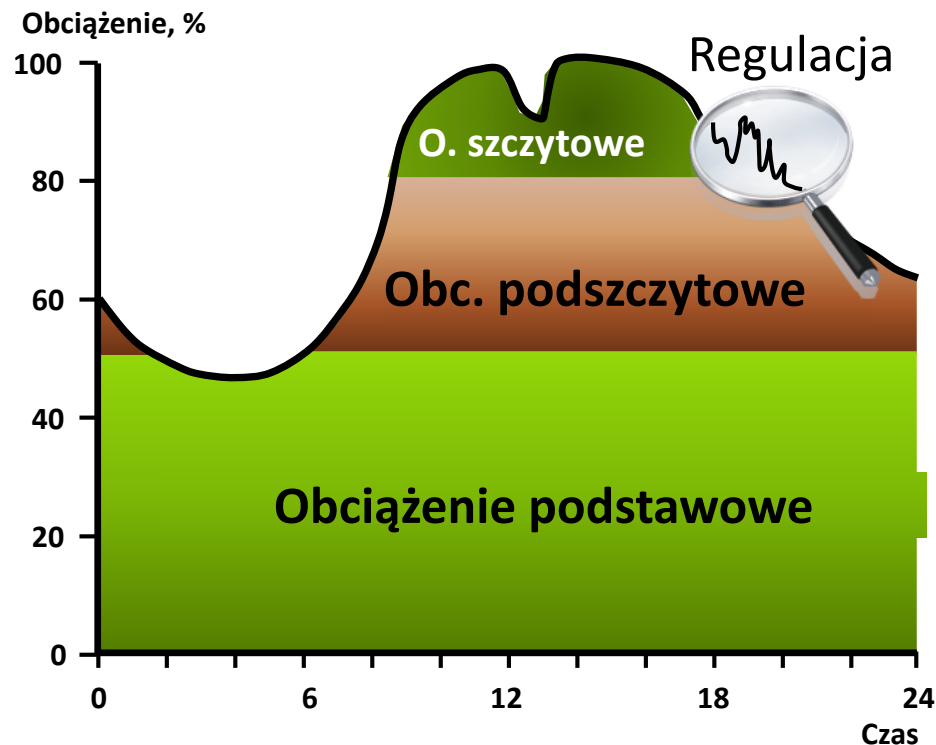
→ *Główne narzędzie: rynek energii*

2. STABILIZACJA SYSTEMU

- Bilansowanie mocy
- Regulacja częstotliwości (50/60 Hz)
- Regulacja napięć
- Rezerwy interwencyjne

→ *Rola OSP*

Dobowa zmienność obciążenia

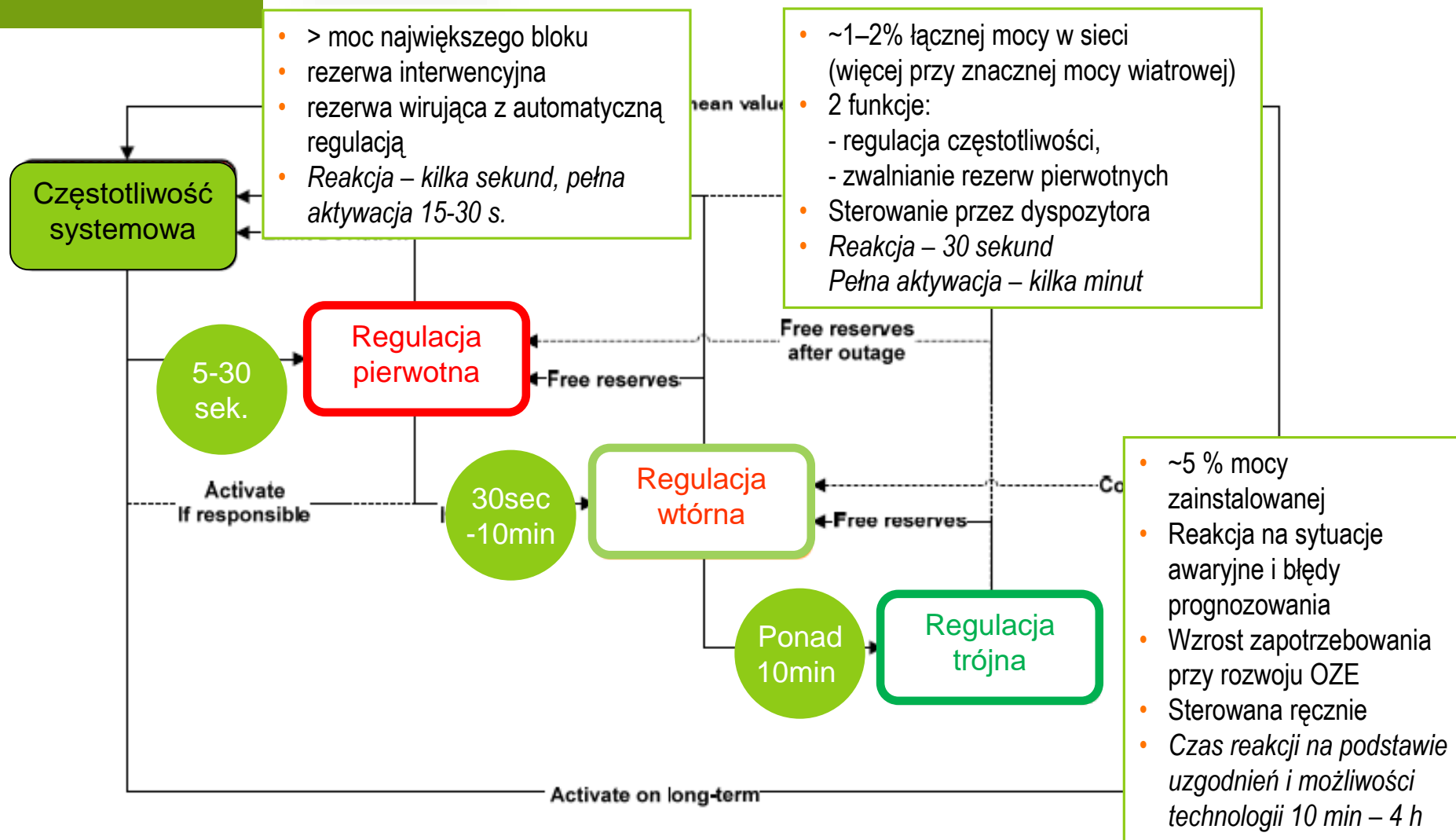




REGULACJA CZĘSTOTLIWOŚCI ENTSO-E

- > moc największego bloku
- rezerwa interwencyjna
- rezerwa wirująca z automatyczną regulacją
- *Reakcja – kilka sekund, pełna aktywacja 15-30 s.*

- ~1–2% łącznej mocy w sieci (więcej przy znacznej mocy wiatrowej)
- 2 funkcje:
 - regulacja częstotliwości,
 - zwalnianie rezerw pierwotnych
- Sterowanie przez dyspozytora
- *Reakcja – 30 sekund*
- *Pełna aktywacja – kilka minut*





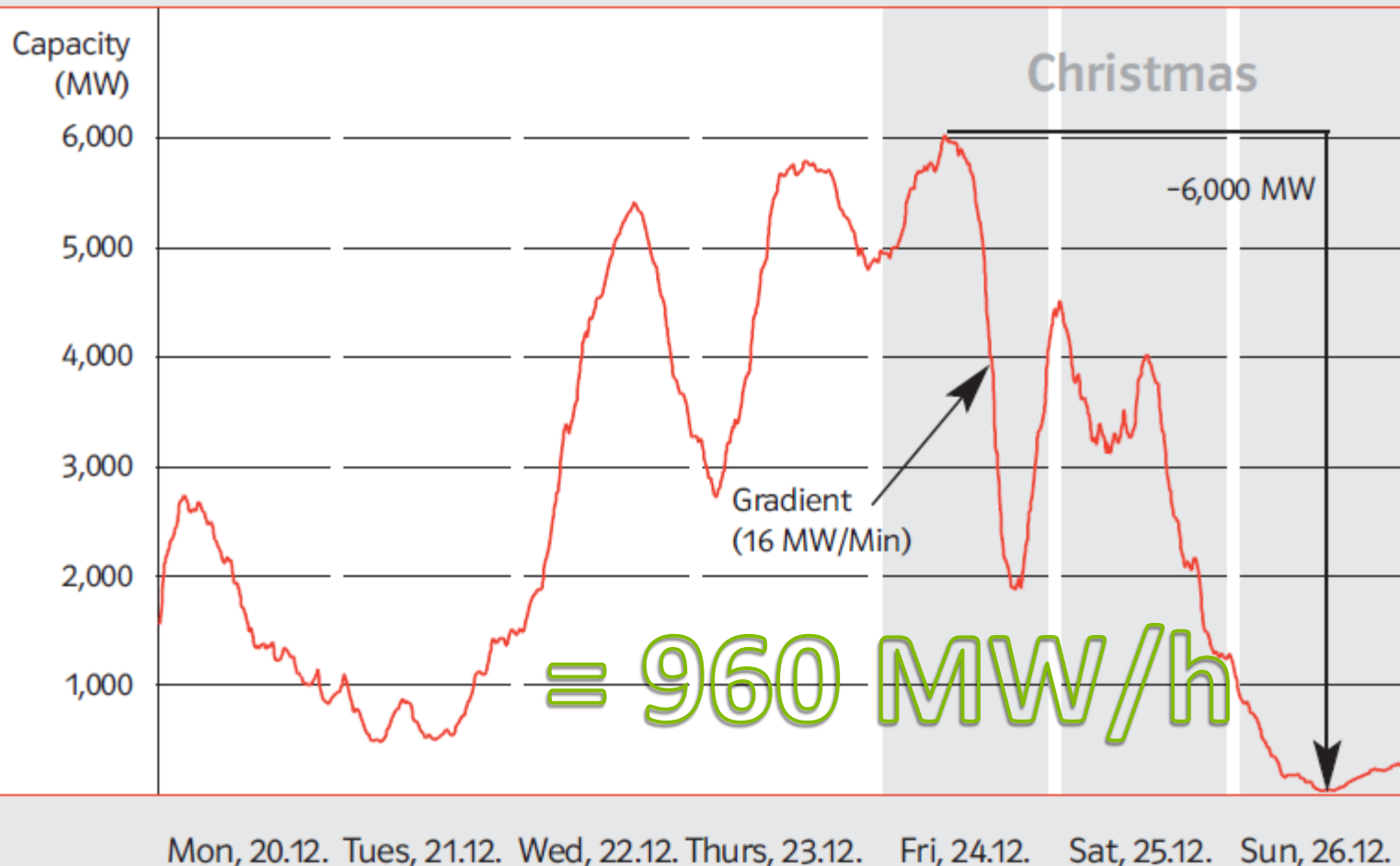
ZAGROŻENIE

E.ON NETZ

GRUDZIEŃ 2004

6. Short-term drop

in wind power feed-in over Christmas 2004



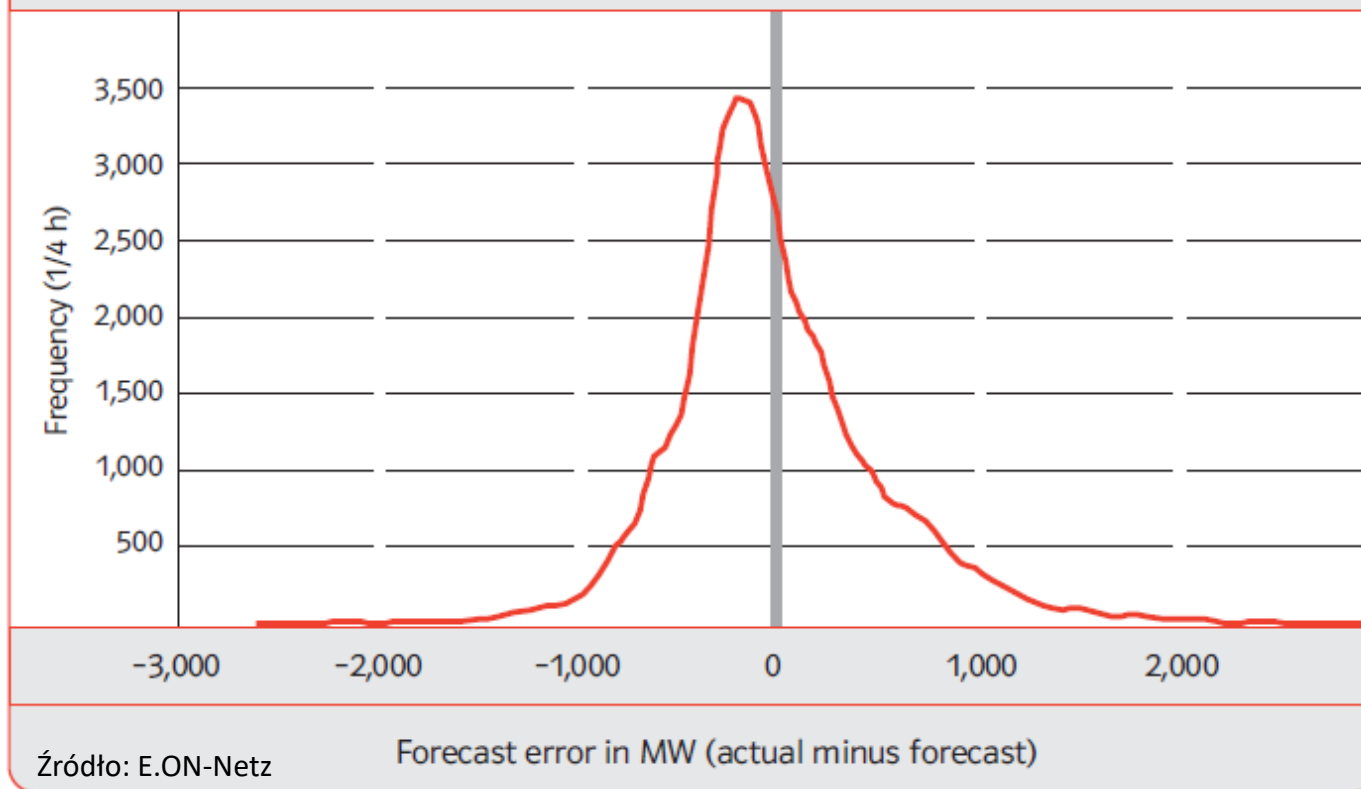
BŁĄD PROGNOZOWANIA E.ON NETZ, 2004



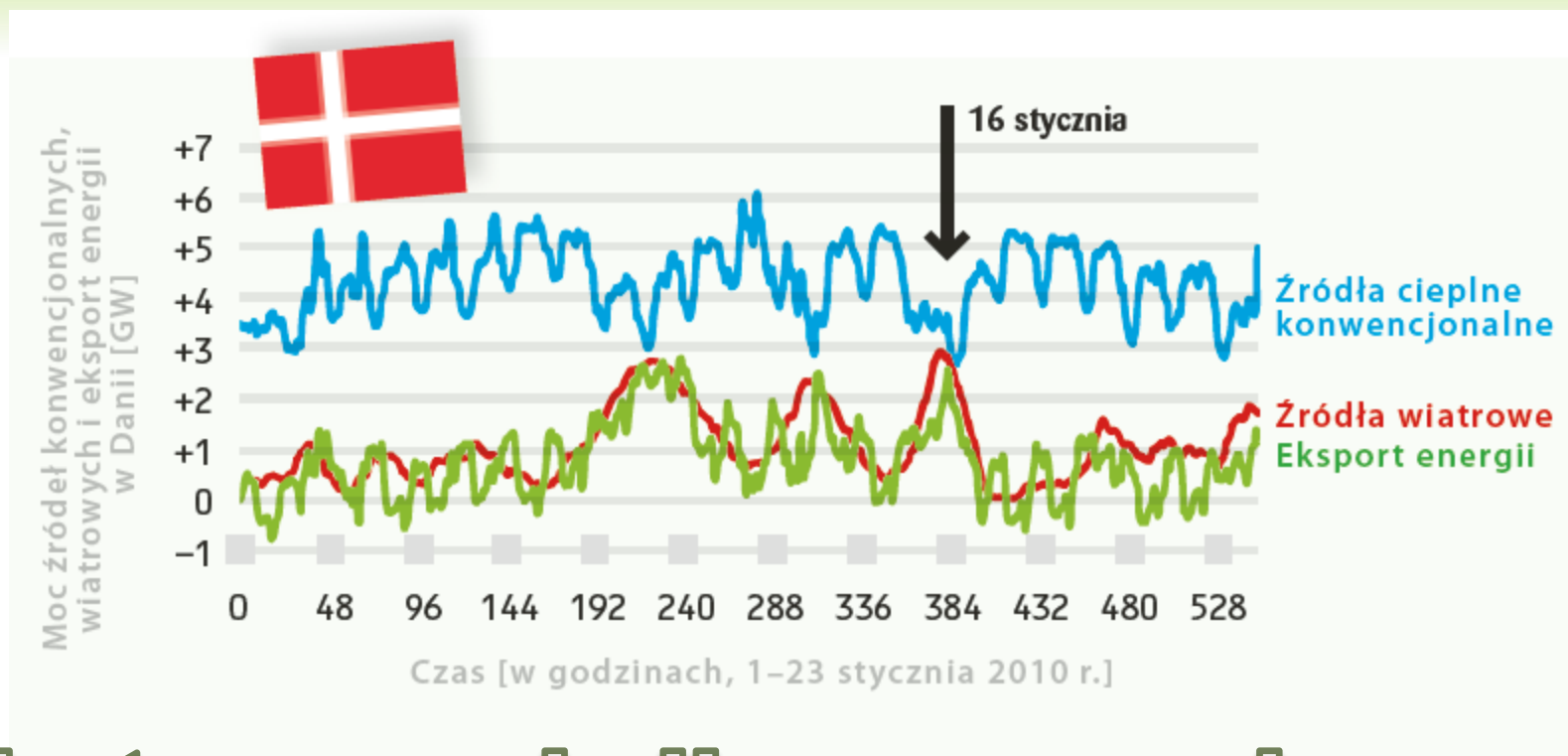
Prognozy 8-godzinne, rozdzielczość 15 minut

9. Frequency distribution of the forecast error

for wind power feed-in 2004 in the E.ON control area

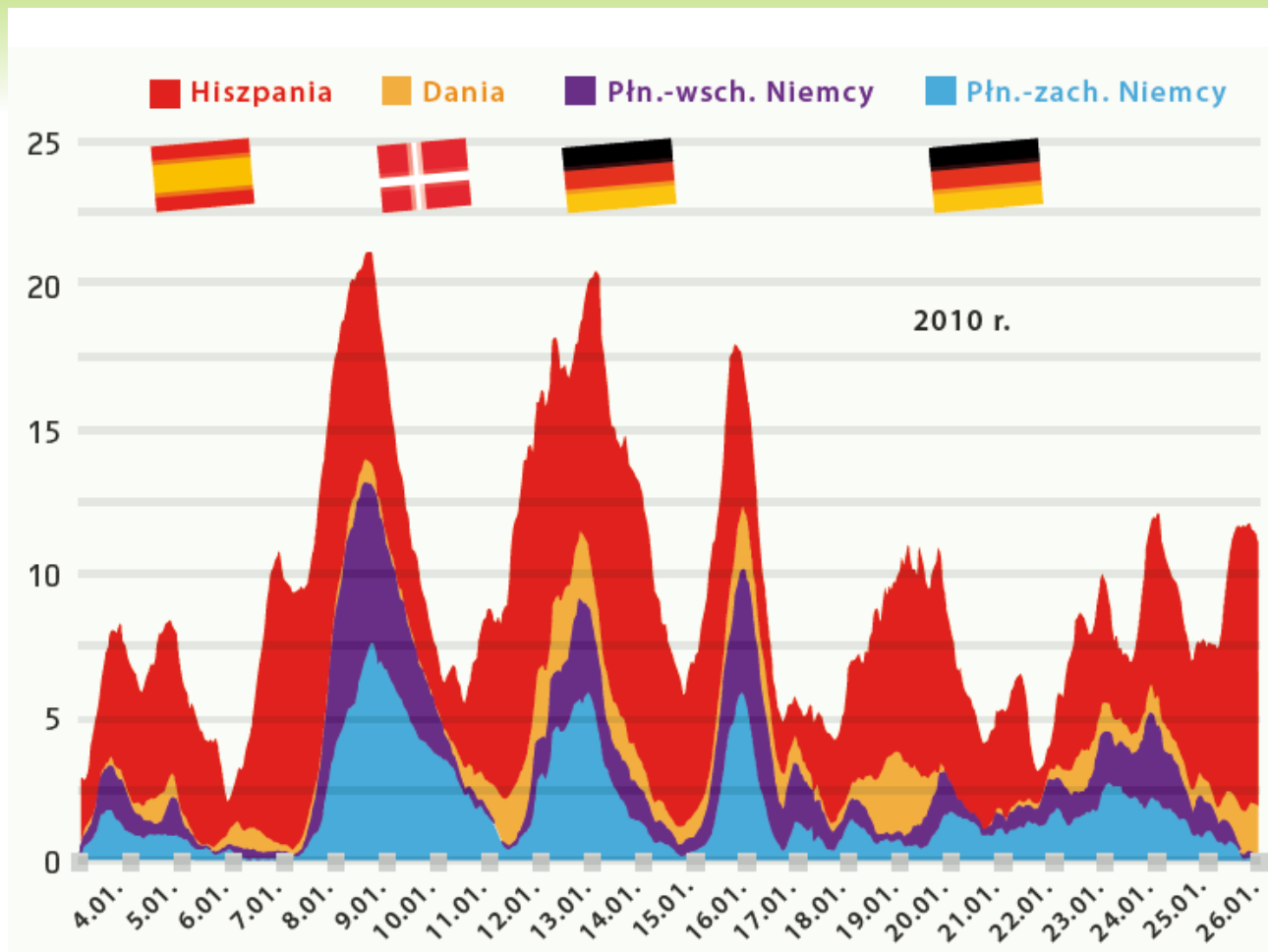


„WZORCOWA” INTEGRACJA ENERGETYKI WIATROWEJ

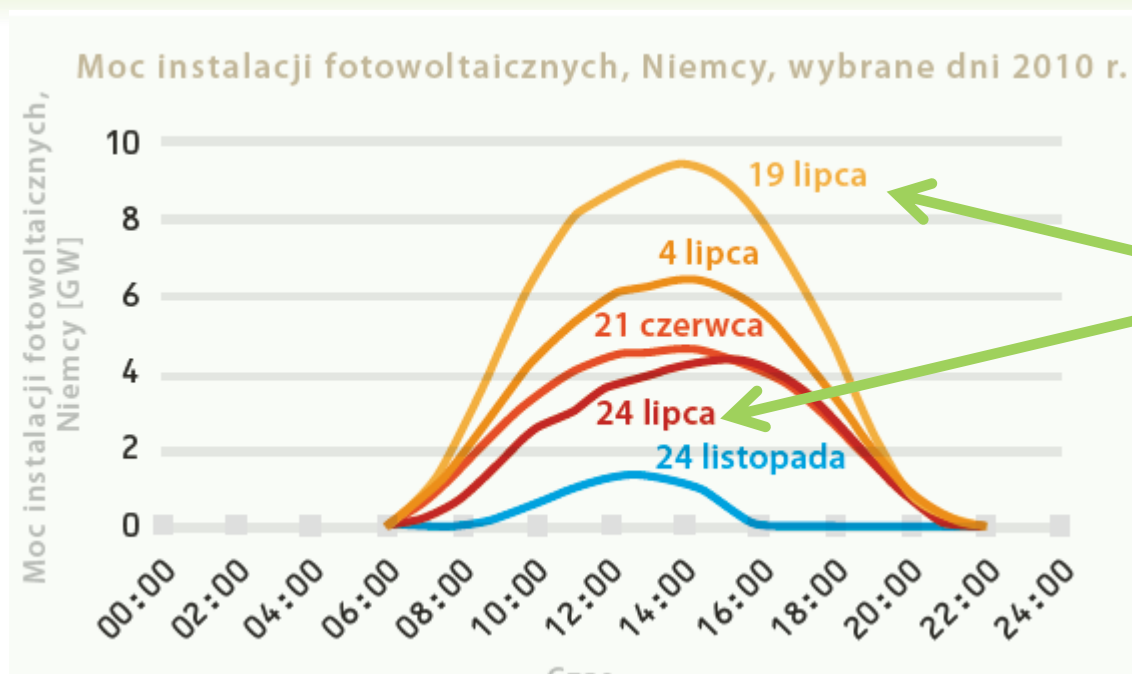


“Integracja” przez eksport

„ROZWIĄZANIE” PRZEZ SUPER-SIEĆ?



WPLYW ENERGETYKI SŁONECZNEJ



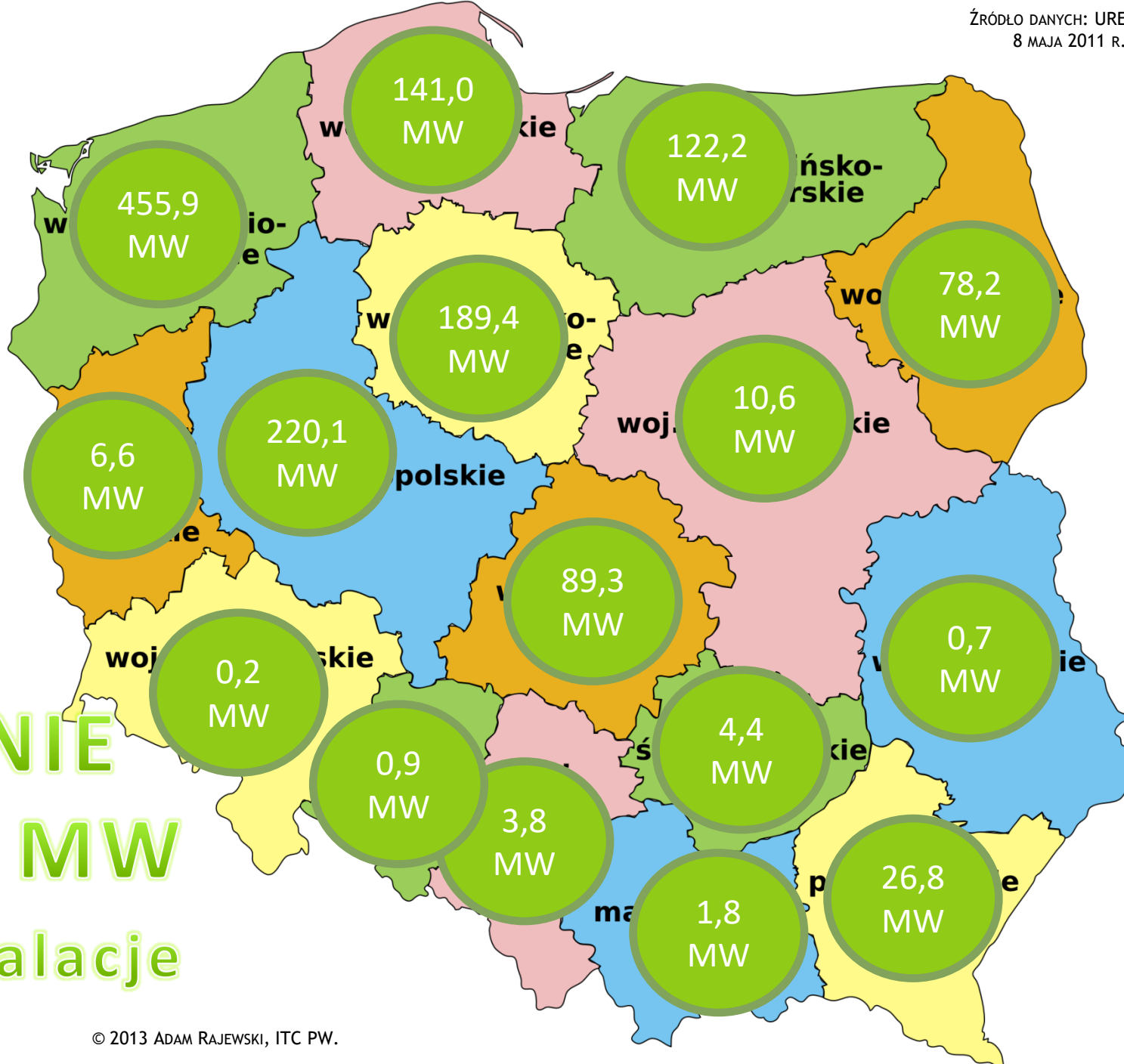
5 dni różnicy
Wpływ zachmurzenia

44

MAJ

8

2011



ŁĄCZNIE

1351,8 MW

453 instalacje

45

GRUDZIEŃ

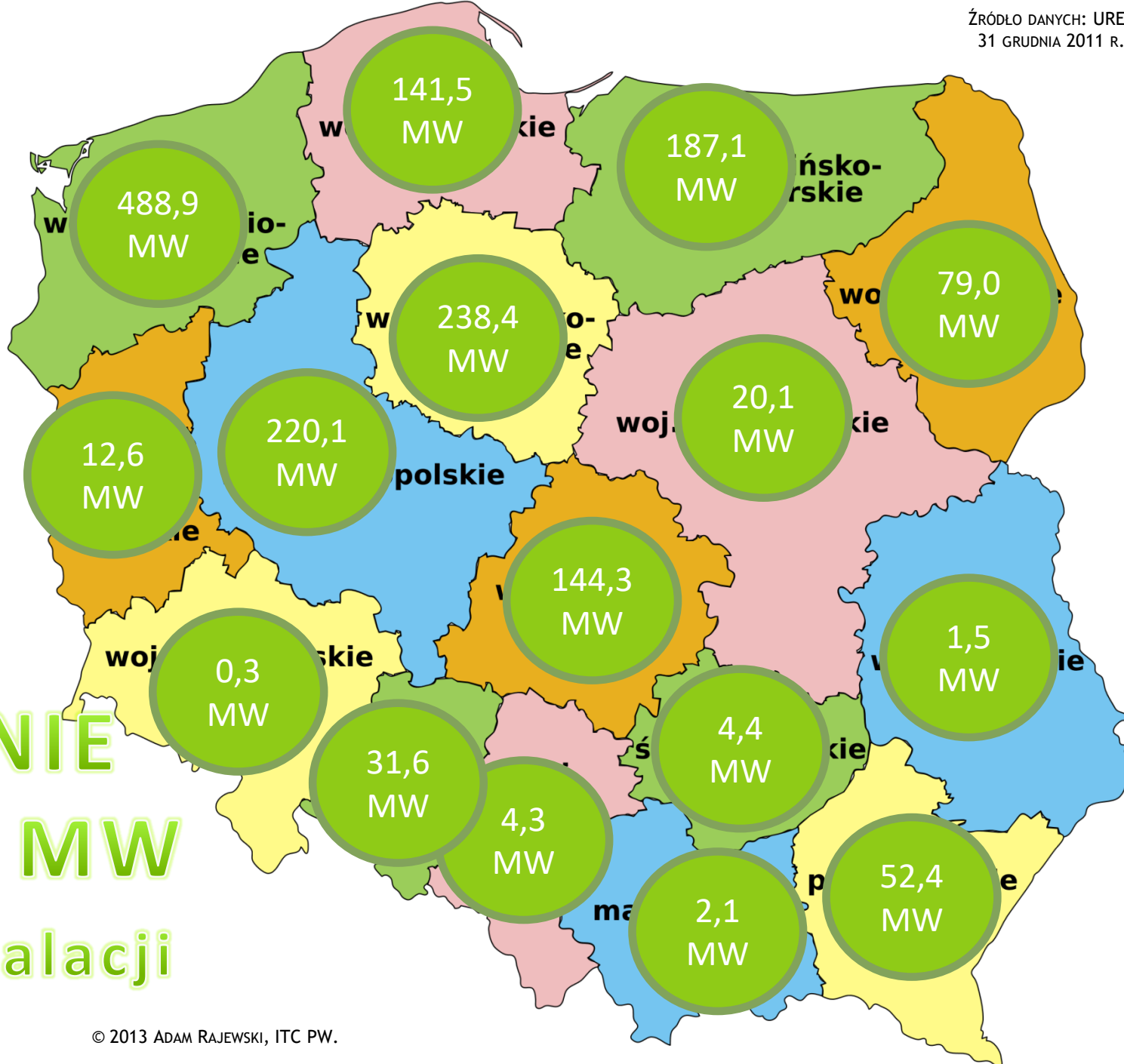
31

2011

ŁĄCZNIE

1616,4 MW

526 instalacji



46

WRZESIEŃ

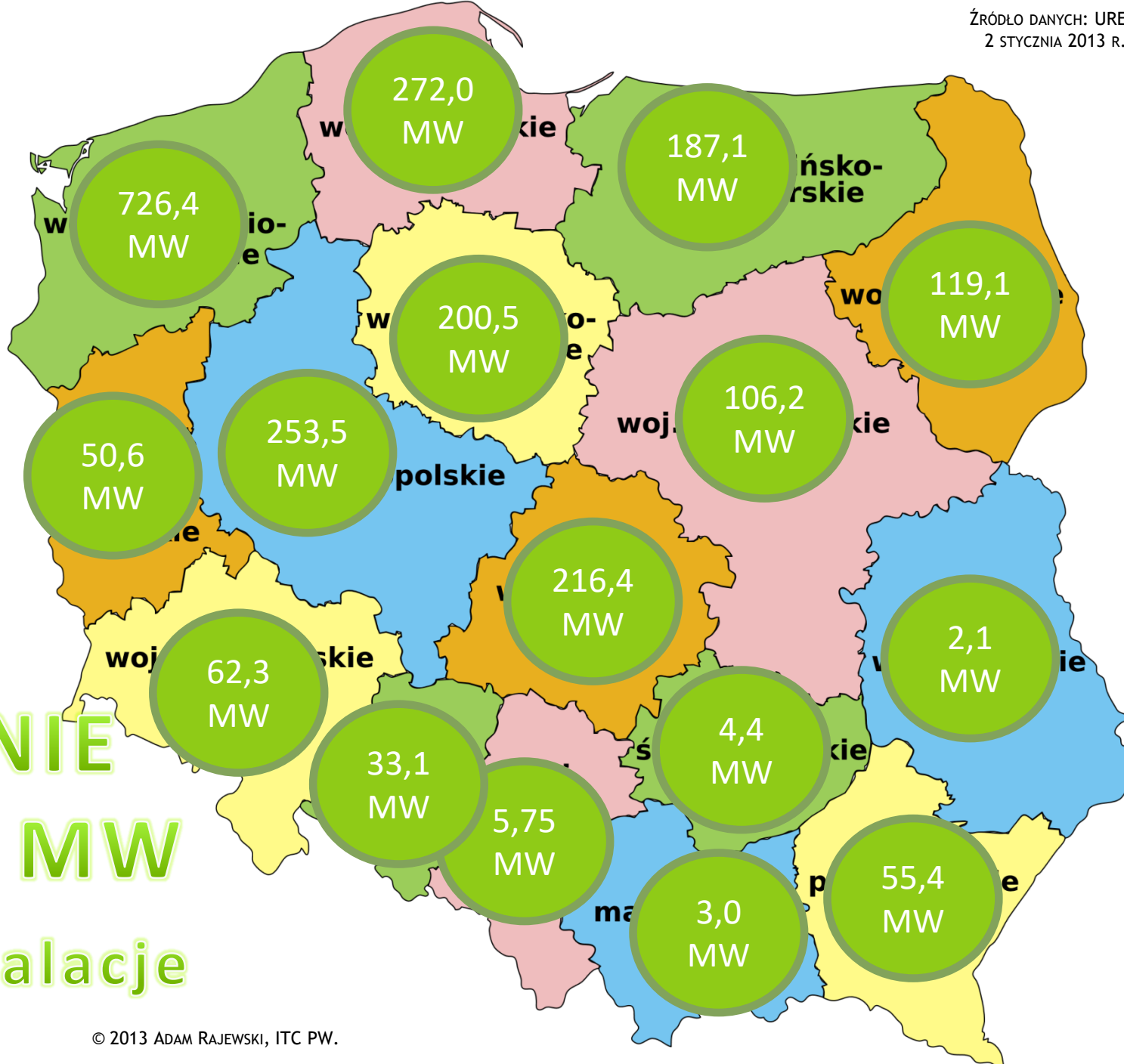
30

2012

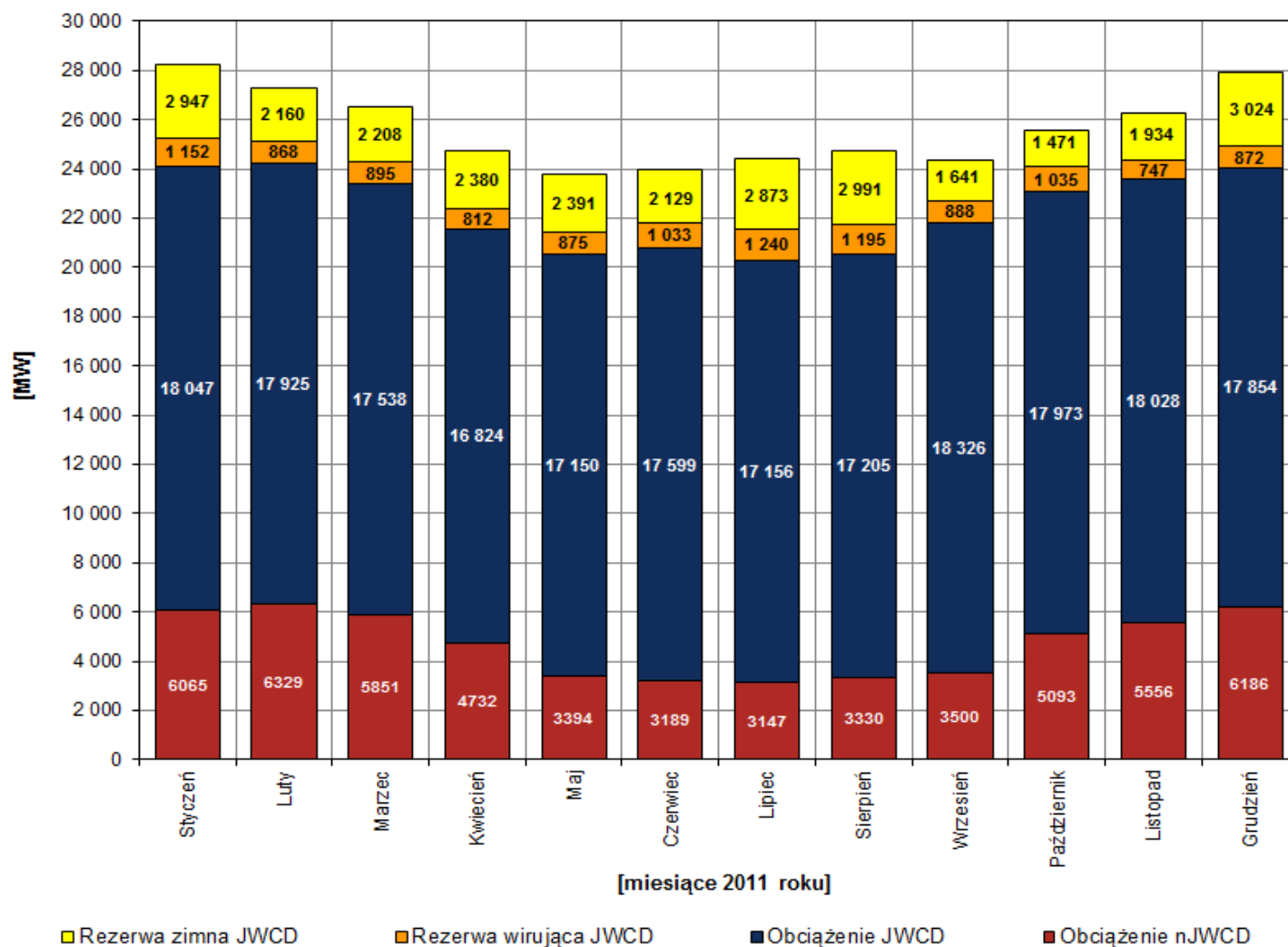
ŁĄCZNIE

2341.3 MW

663 instalacje

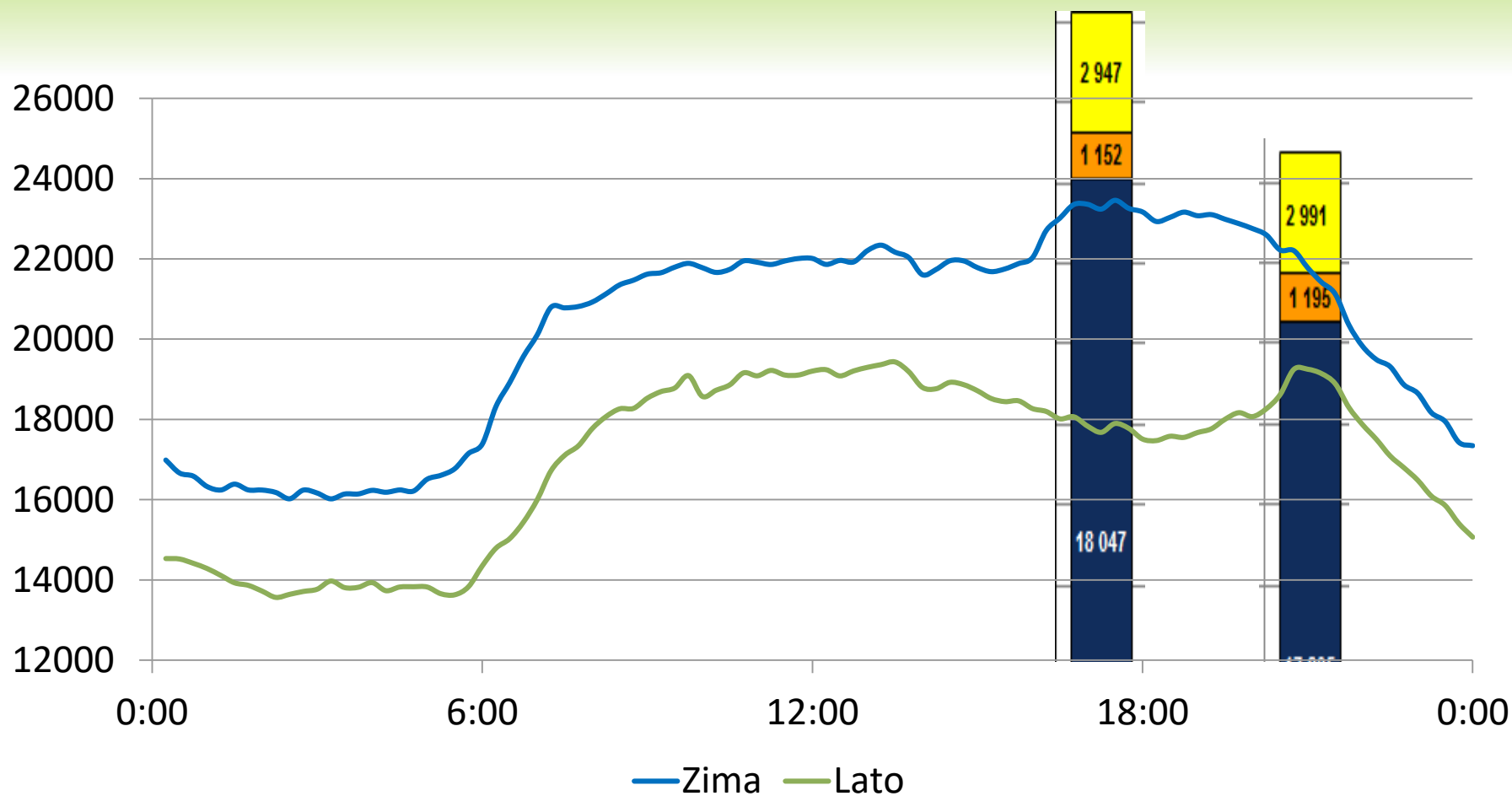


MOC WYTWÓRCZA I REZERWY W 2011



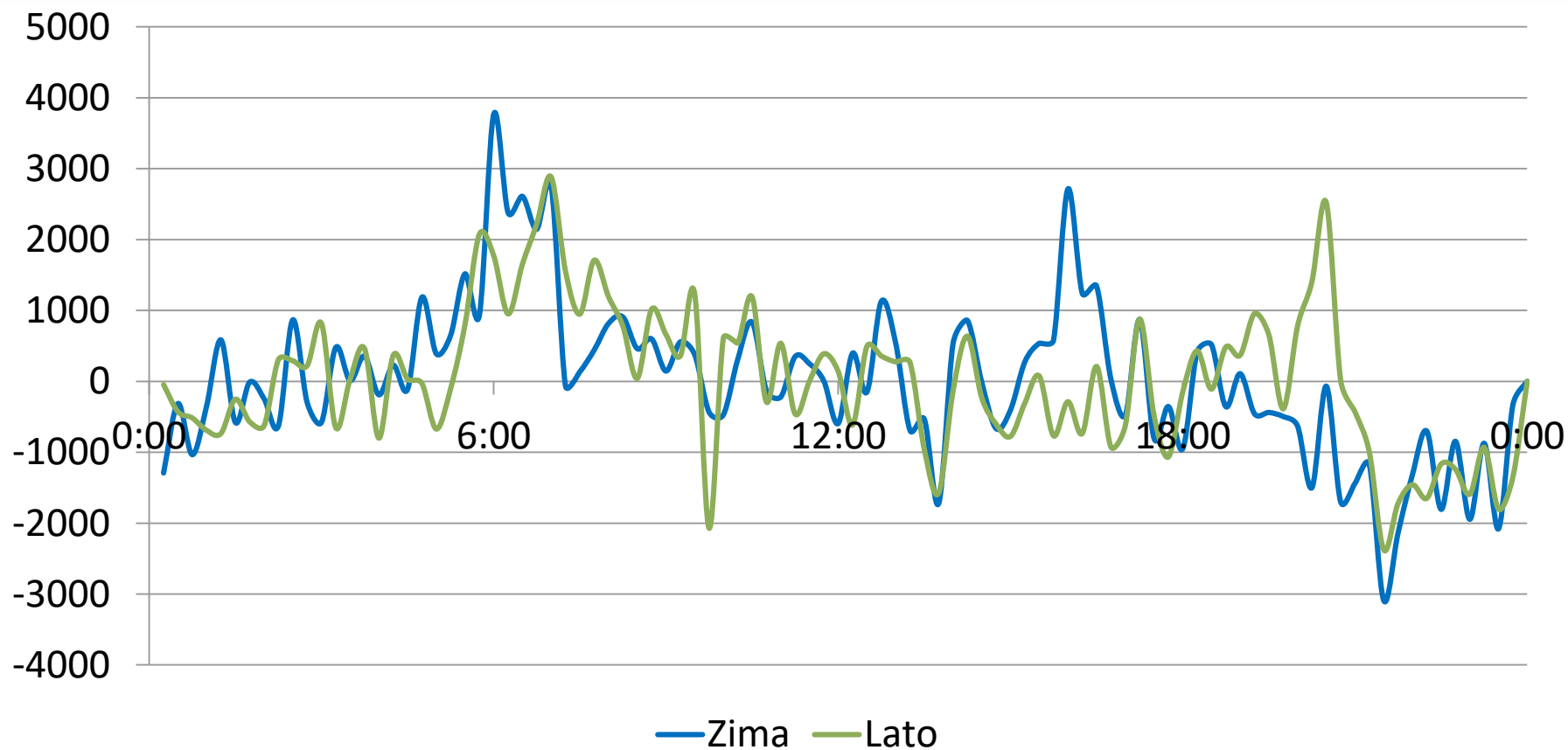
OBCIĄŻENIE KSE [MW]

DZIEŃ ROBOCZY



ZMIENNOŚĆ OBCIĄŻENIA

ROZDZIELCZOŚĆ 15 MIN [MW/H]

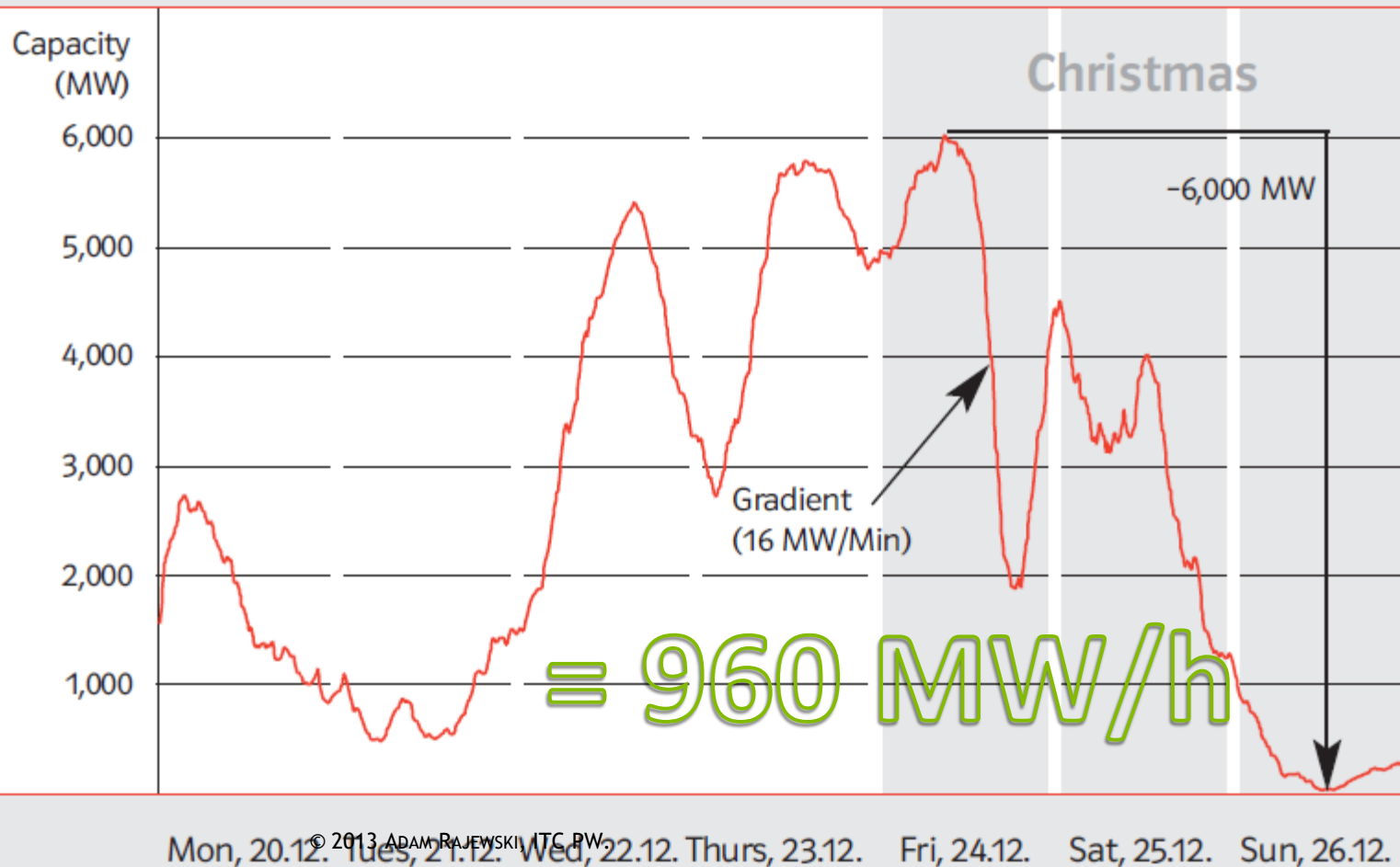


E.ON NETZ

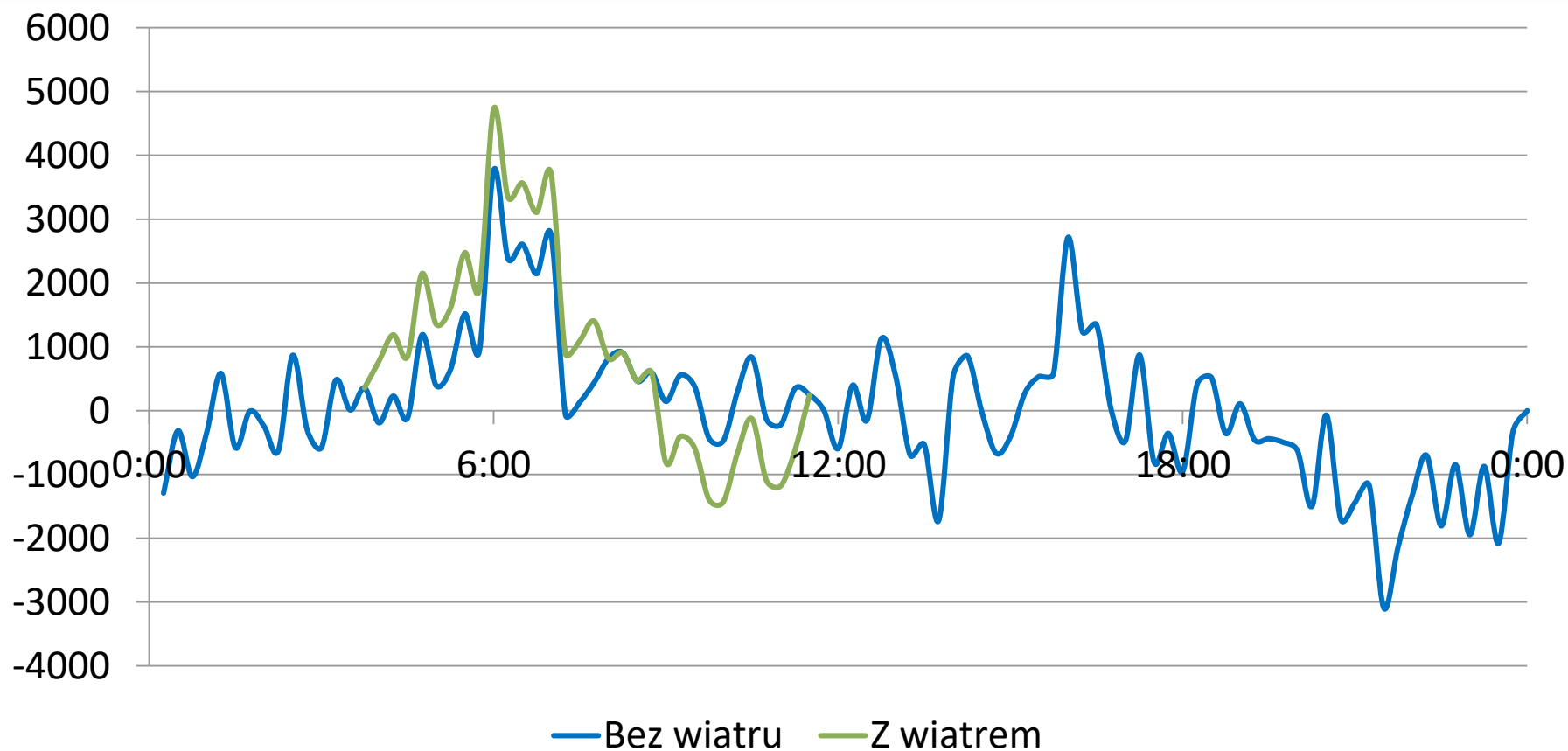
DECEMBER 2004

6. Short-term drop

in wind power feed-in over Christmas 2004



ZMIENNOŚĆ OBCIĄŻENIA [MW/H]



(NIE)STABILNOŚĆ SYSTEMU

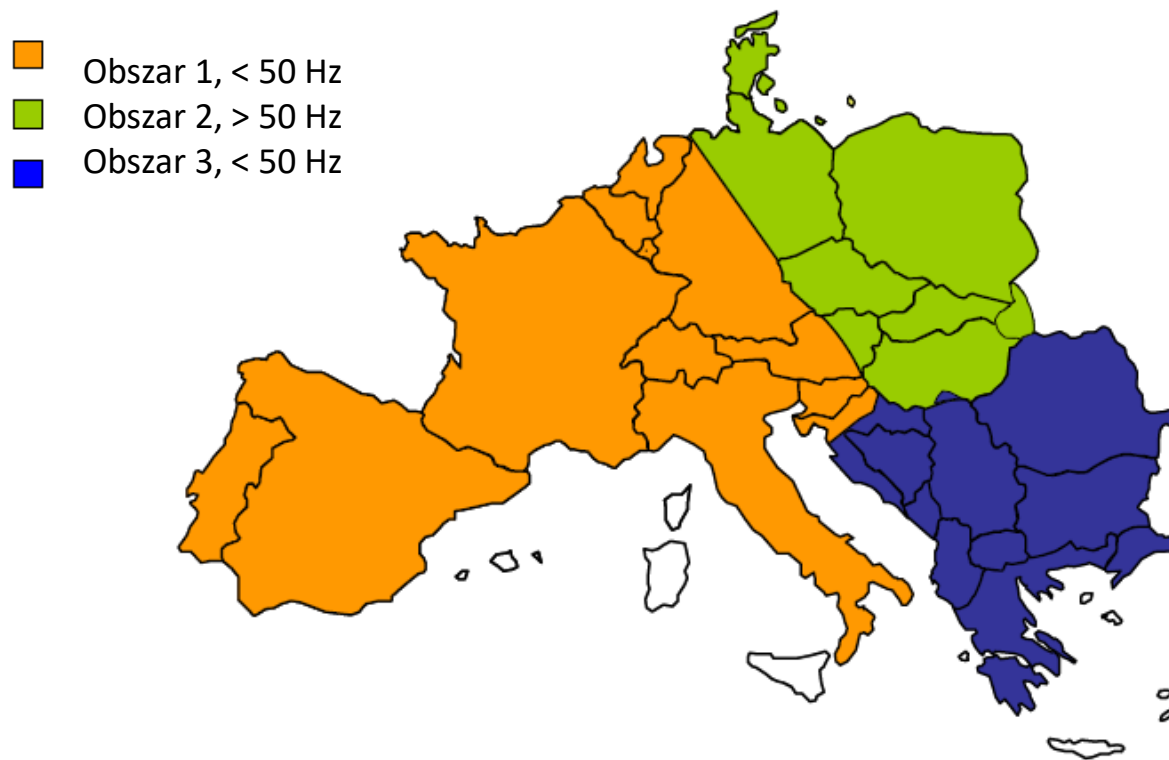
4 LISTOPADA 2006

Po rozłączeniu linii 380 kV Conneforde-Diele w Niemczech (dla przejścia statku) system UCTE rozpadł się na 3 niesynchronizowane części.



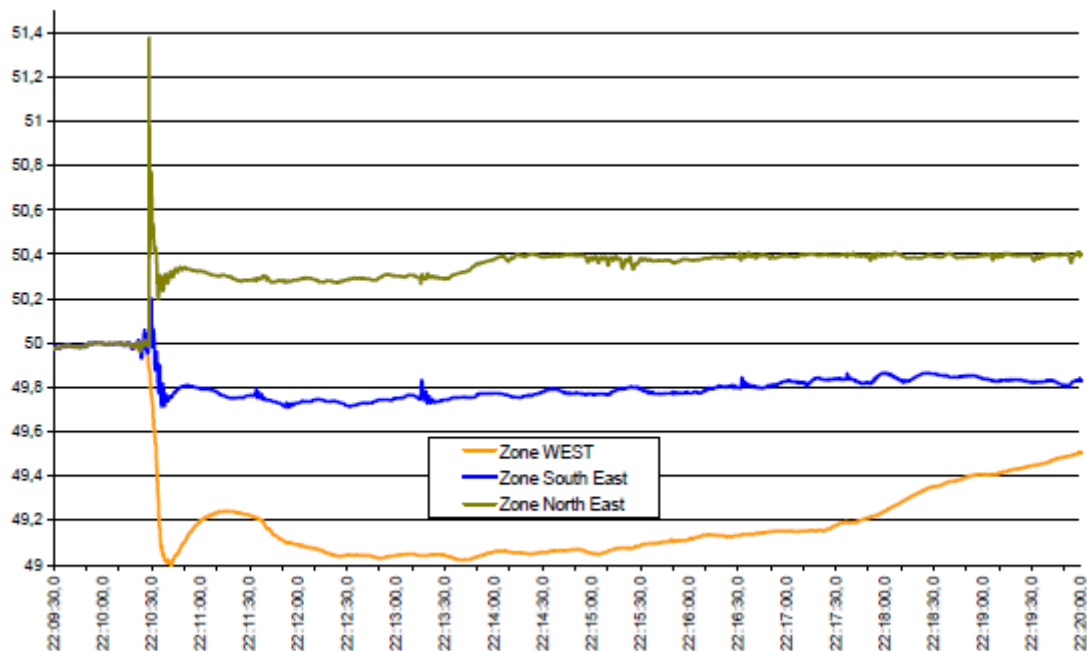
(NIE)STABILNOŚĆ SYSTEMU

4 LISTOPADA 2006



(NIE)STABILNOŚĆ SYSTEMU

4 LISTOPADA 2006



(NIE)STABILNOŚĆ SYSTEMU

4 LISTOPADA 2006

Wpływ energetyki wiatrowej

Odłączenie EW
z uwagi na odchyłkę
częstotliwości

Wznawianie pracy
przez EW w wyniku
przywracania
częstotliwości

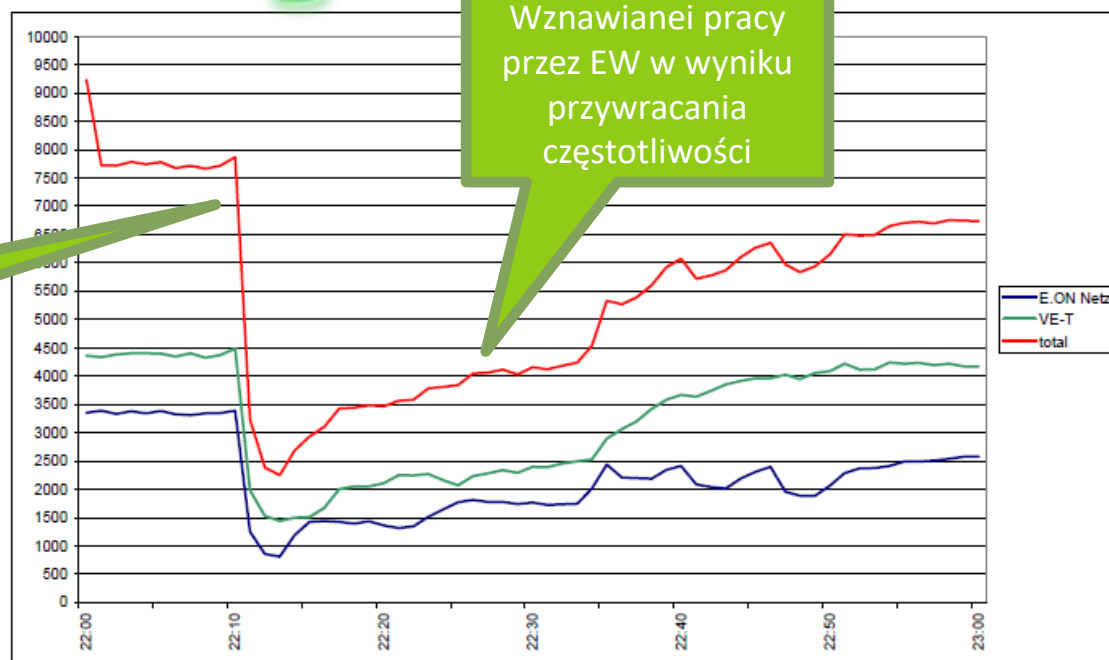


Figure 13: Output of windmills (VE-T, E.ON Netz, from 22:00 to 23:00)

Procesy poza kontrolą operatorów systemu!

ROZWIĄZANIA

MOŻLIWE ROZWIĄZANIA

Wzrost rezerw

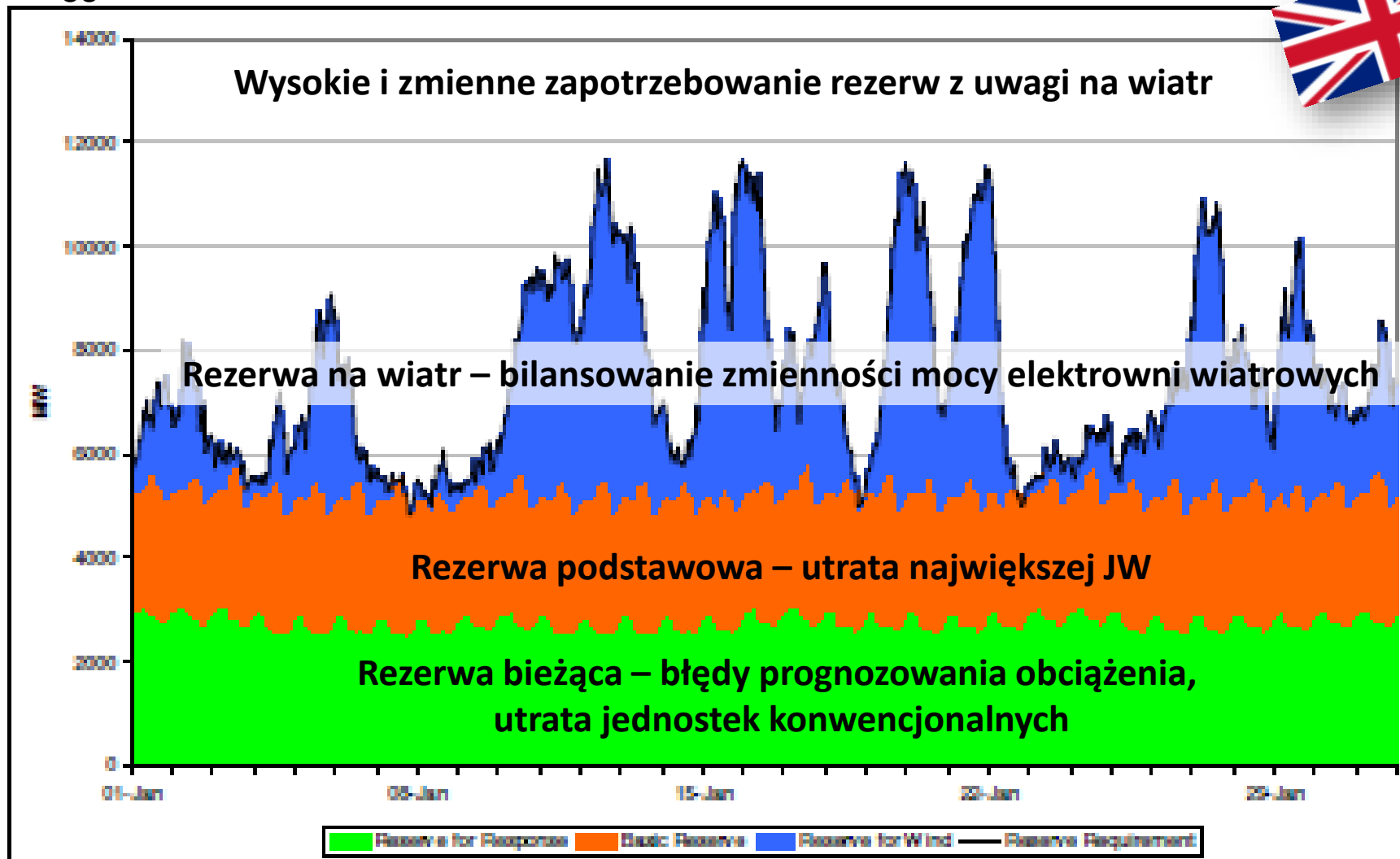
- Dodatkowa rezerwa wirująca → nieuniknione straty
- Moce interwencyjne

Zrzuty odbiorów

- Demand Side Management

WYMOGI REZERW 2020

58



Rezerwy wymagane dla scenariusza „zielonego”, National Grid 2011

ELEKTROWNIE INTERWENCYJNE

Wymagane cechy

- Szybki rozruch (nieplanowany)
- Wysoka elastyczność
- Wysoka niezawodność
- Niski koszt inwestycyjny

Możliwe technologie

- Elektrownie wodne (rozruch do 1,5 minuty)
- Silniki tłokowe (rozruch: 1 minuta diesel, 5 minut gaz)
- Turbiny gazowe (układ prosty, rozruch: 10 minut)
- CAES
(czasy rozruchu ze stanu podgrzanego do pełnej mocy znamionowej)

ROZWIĄZANIA PROBLEMU STABILIZACJI

1. Dedykowane rezerwy interwencyjne

- Wykorzystywane tylko jako ostatnia linia obrony
- Mogą być własnością OSP

2. Dynamiczne elektrownie rezerwowe

- Elastyczne instalacje zapewniające rezerwę do bilansowania systemu w sytuacji, gdy nie wystarcza do tego rynek
- Rozwiązanie stosowane w Estonii (własność OSP)

3. Instalacje wielofunkcyjne

- Realizacja bilansowania systemu jednocześnie z wytwarzaniem energii
- Konieczny płynny rynek energii oraz obecność odpowiednio elastycznych instalacji

ELEKTROWNIA INTERWENCYJNA KIISA, ESTONIA

- ⊙ Koszt realizacji „pod klucz” 129 mln €
- ⊙ Instalacja dwupaliwowa (olej opałowy / gaz ziemny)
- ⊙ 27 silników tłokowych, łączna moc 250+ MW
- ⊙ Czas rozruchu do pełnej mocy: 5 minut
- ⊙ Właściciel i operator: Elering AS, estoński OSP
- ⊙ Planowany czas pracy do 200 h/a
Wyłącznie praca interwencyjna
- ⊙ 500 €/kW mocy zainstalowanej

ZADANIE

KOSZT REZERWY WIRUJĄCEJ

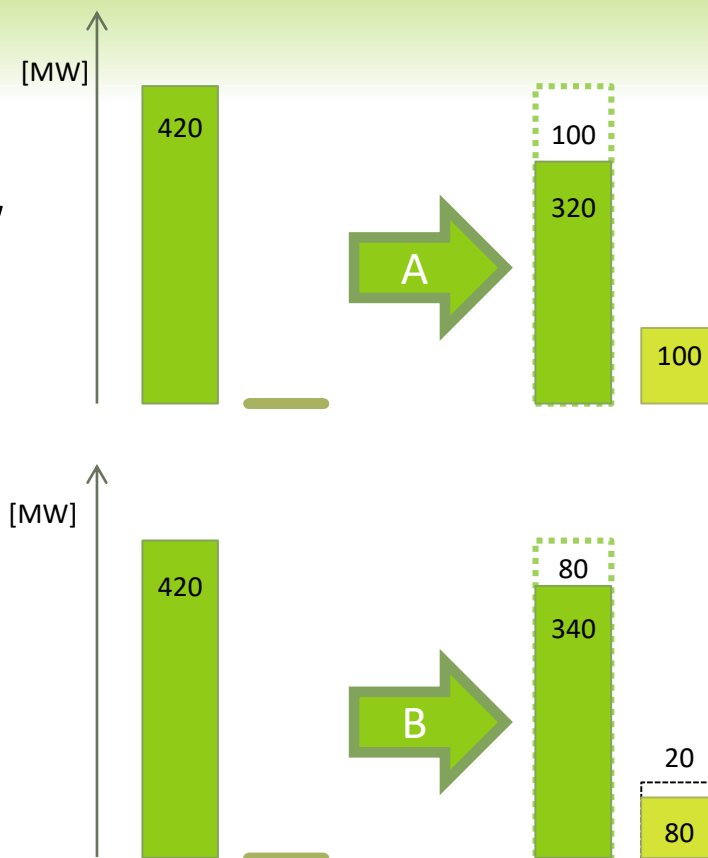
ZADANIE

KOSZT REZERWY WIRUJĄCEJ

Obliczyć koszt zapewnienia 100 MW rezerwy wirującej przy pomocy:

- ⊙ Bloku gazowo-parowego o mocy 420 MW pracującego w podstawie,
- ⊙ Rezerwowego bloku gazowego o mocy 100 MW

tak aby oba bloki pokryły zapotrzebowanie o wartości 420 MW. Wziąć pod uwagę koszty dodatkowego zużycia paliwa oraz dodatkowej emisji dwutlenku węgla.



DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ!